

Rolf Pfeifer and Josh Bongard

رولف فايفر
و
جوش بونغارد

كيف يُشكّل الجسد طريقة تفكيرنا

نظرة جديدة إلى الذكاء

How the Body Shapes the Way We Think

A New View of Intelligence

تدقيق الترجمة العلمية والتقنية:

Samia Nefti-Meziani

سامية نفتي-مزياني

الترجمة اللغوية والعلمية الموثقة:

فاطمة باعثمان

خديجة باوزير

كيف يُشكّل الجسد طريقة تفكيرنا

نظـرة جديـدة إلى الذكـاء

How the Body Shapes the Way We Think
A New View of Intelligence

Rolf Pfeifer and Josh Bongard

رولـف فـايفـر
و
جـوش بونغـارد

تدقيـق الترجمة العلمية والتقنية:
Samia Nefti-Meziani
سـامـيـة نـفـتي- مـزيـاني

الترجمة اللغوية والعلمية المبدئية:
فـاطـمـة بـاعـثـمـان
خـديـجـة بـاوزيـر



بسم الله الرحمن الرحيم

1433 هـ - 2012 م

ISBN: 9786140203365



عين التينة، شارع المفتي توفيق خالد، بناية الريم
هاتف: (+961-1) 785107 - 785108 - 786233
ص.ب: 13-5574 شوران - بيروت 2050-1102 - لبنان
فاكس: (+961-1) 786230 - البريد الإلكتروني:
bachar@asp.com.lb
الموقع على شبكة الإنترنت: http://www.asp.com.lb


تليجرام
هنا
سور الأزبكية

أود أن أتقدم بالشكر الجزيل إلى من ساهم في الترجمة اللغوية والعلمية المبدئية: الدكتورة فاطمة باعثمان وخديجة باوزير. كما أشكر أيضا الدكتور حميد اليزيدي الذي اشتغل تحت اشرافي في التدقيق اللغوي ومراجعة المصطلحات العلمية والتقنية.

الأستاذة الدكتورة سامية نفتي مزياني
Professor Samia Nefti-Meziani
University of Salford

تقديم

يُحدِث التطور ثورات عظيمة في العلوم، خصوصا عندما يتزامن ذلك مع ما لدينا من قدرات على تحدي الواقع أو عندما يصبح ما نعتقده حقيقة مطلقة قابلة للتغيير والجدل. أحيانا يأخذ النقاش العلمي منحاً هجومياً، قاسيا ومباشرا في تحليله للحقائق العلمية القديمة، وأحيانا أخرى يكون الهجوم دمثا ولكنه قد يمتد عبر فترة زمنية طويلة حتى يثير الشك بصورة تدريجية حول تلك الحقيقة العلمية لتصبح هذه "الحقيقة" في النهاية "مشككا بها"".

يعرض هذا الكتاب هجوما دمثا على (مذهب العقلانية الحديث: modern rationalism) وبعض الأفكار الأساسية الملازمة له ولكنه لايعتبر هجوما على العقلانية بحد ذاتها. حيث يناقش رولف فايفر و جوش بونجارد في ((Rolf Pfeifer and Josh Bongard الكتاب ثلاث أسئلة رئيسية ذات علاقة بالعديد من المفاهيم الشائعة التي يتبناها العقلانيون أمثال رينيه ديكارت (Rene Descartes). يطرح الكاتبان تساؤلات عديدة عن قدرات نظمنا العصبية وقدرتها لإجراء عمليات حاسوبية، وعن وجود نظم تَحكُّم منفصلة عن أجسادنا، وعن إمكانية وجود تفكير منطقي حقيقي

دون الضرورة لوجوده بداخل جسد ما، حيث اقتضى قانون الطبيعة وجود العقل داخل جسد الإنسان. هذه الأفكار الثلاثة نجدها عادة متأصلة في العمليات الحاسوبية المجازية التي تتم بداخل عقولنا لدرجة أنه لا تتم مسائلتها وليس لها معنى في إطار تفكيرنا الاعتيادي في مجالات علوم الحاسوب، والذكاء الاصطناعي أوحتى في مجال (علم الخلايا العصبية الدماغية: neuroscience). ولكن عندما نتجاوز الحدود التقنية البحتة، فإننا بطرحنا مثل هذه الأسئلة نتحدى سؤال الأب الفكري للعقلانية، رينيه ديكارت، وعبارته الشهيرة " أنا أفكر، إذا أنا موجود: I think,thefore I am" كما وردت في كتابه (حوار حول الأسلوب: Discourse on Method) و(التي كتبها بالفرنسية وليس باللاتينية عام 1637م[1]).

قد يُنظر إلى هذه الأسئلة كتحدٍ لأسس المنظور العلمي العالمي ولكنها في الواقع ليست كذلك. فإن فايفر وبونجارد لايقترحان استبعاد الطرق العلمية واستبدالها بطرق نسبية أخرى، كمنظور مابعد الحداثة[2] كما يخشى البعض، ولكنهما بالأحرى يهاجمان بعض الأفكار المجازية المعينة التي تجاوزت في تأثيرها الحد على طريقة دراستنا للذكاء أو دراستنا لأنفسنا.

ومن الواضح أن هناك أمرين مهمين لم يتم تقييم أثرهما بصورة جيدة في العصر الحديث من حيث نظرتنا للذكاء:

1. نموذجه لاختبار ذكاء الآلة (Alan Turning) شرحآلن تورنينغ المبني على مجموعة من القوانين الثابتة كما في ورقته العلمية المقدمة عام 1950م (الآلات الحاسوبية والذكاء :Computing Machinery and Intelligence) والذي استطاع أن يستوحيه من خلال التأمل في السلوك الخارجي للتمييز بين الإنسان والآلة، فالشخص الذي يقوم بعملية حسابية بواسطة الورقة والقلم يتبع "مجموعة من القوانين الثابتة" مثل الآلة في تنفيذها للأوامر. ومن الجدير بالذكر هنا أن هذا النموذج لايزال مهيمناً حتى عصرنا الحديث على الرغم من أن تورنينغ استطاع أن يحاكي في نموذجه لذكاء الآلة ما يفعله الإنسان و ليس ما يفكر به الإنسان.

2. منذ أن اعتبر العلماء عقل الإنسان مركزا لتفكيره، ورغباته، وأحلامه أصبحت مقارنة العقل البشري بأكثر أنواع التقنية التي طورها الإنسان ممكنا. فعلى سبيل المثال أثناء حياتي - ومن خلال تجربتي الشخصية - توالى ظهور العديد من الاستعارات الشائعة لتصوير مدى "تعقيد" العقل البشري. فعندما كنت طفلا صغيرا، شُبِه العقل بشبكة تحويل التليفونات الالكترومغناطيسية. وعندما أصبحت شابا مُثِل العقل البشري بحاسب رقمي إلكتروني وبعد ذلك شبه بحاسوب رقمي ضخم يستخدم معالجات متوازية. و في أبريل 2002م سألني أحد الجمهور في محاضرة حول مإذا كان من الممكن تشبيه العقل البشري ب (الشبكة العنكبوتية العالمية: world wide web). حتى العلماء الجادون قدموا تشبيهات معقدة مستعارة من طبيعة تخصصاتهم، حتى أن أحدهم ربط بين ظواهر الفيزياء الكمية والعقل البشري من حيث شدة التعقيد واستخلص أنهما لابد وأن يتعلقان بنفس الشيء[3].

لقد أصبح تمثيل تورنينغ هو التعريف الشائع للعمليات الحاسوبية والذي أشار إليه في ورقته العلمية عام 1950م مستخدما فيه كمثال المحرك الميكانيكي لبابج (Babbage). حيث أوضح فيه بأن العمليات الحاسوبية غير مرتبطة بالوسط الذي تعبرعنها أو تتم فيه. وهكذا فإن استعارات تشبيه الدماغ التي ظهرت (عدا تشبيه نظريات الفيزياء الكمية) تضمنت صورة مماثلة للشكل الحاسوبي المقترح من قبل تورنينغ، وعليه فقد أيد بشدة أنصار مذهب العقلانية الإفتراض القائل بأن الدماغ هو آلة لتورنينغ وأن أجهزته الطرفية متمثلة بأعضاء جسم الإنسان، وتقوم آلة تورنينغ بعمليات تورنينغ الحاسوبية وتتحكم في أجهزته الطرفية.

ولكن عندما نفكر في تاريخ تطور الأنظمة العصبية فإننا نواجه تساؤلات أكثر تعقيدا عن تلك التي تتحدى المفهوم التطوري (evolution): من هذه ذاته. التساؤلات: كيف يمكن للتطور أن يُنتج بطريقة تراكمية مركبات متغايرة مثل مكونات العين وتشمل: العدسات، و بؤبؤ العين، و الشبكية في حين أنها جميعا ضرورية لأداء وظيفة الرؤية وتعمل بصورة متكاملة فيما بينها ليتمكن كل جزء منها القيام بوظيفته ضمن الكل؟. وعندما نُشكك في هذا المفهوم فإننا نتساءل عن الدور الذي لعبته

النُسخ الأولية للأنظمة العصبية قبل أن تتحور وتصبح نظم تحكم فعَّالة كاملة شبيهة بمركِّبات نظم تورنينغ "للتحكم" والتي تحدث عنها أثناء العمليات الحاسوبية" "كالتنفيذ" و "التخزين".

إن استخدام الاستعارات التشبيهية في العلم ذات فائدة جمة حيث أنها تساعدنا على فهم وتجسيد النظم التي لا يمكننا فهمها في الواقع، كما أنها تمكننًا من اقتراح أسئلة مناسبة ذات علاقة بالنظام الذي نعمل عليه، وبالتالي فهي تؤهلنا لإنتاج نماذج بداعية توضح كيفية عمل الأشياء. وهكذا سنتمكن من الحصول على المزيد من المعلومات التي تساعدنا على تخطي الفجوات لتتشكل لدينا نظرية مباشرة أكثر وضوحا عن الذكاء. ولكن التشبيهات المجازية عن المعلوماتية والحاسوبية قد تجعلنا نفكر بطرق أكثر تعقيدا مما ينبغي. فالجاذبية مثلا يمكن أن يُنظرإليها على أنها وسيط لنقل المعلومات من جسم إلى آخر، ولكن هذه الصورة المجازية للمعلومات لا تفيدنا كالطريقة الميكانيكية التقليدية المتبعة إذا ما أردنا معرفة القيم الحسابية لمدار كوكب ما حول الشمس. وبالمثل فإن استخدام الصورة المجازية للتعبير عن العمليات الحاسوبية والمعلوماتية قد لا تكون دائما أفضل الطرق التشبيهية لفهم الذكاء.

يقدم فايفر و بونجارد طريقة مختلفة لفهم الذكاء، تتماشى أكثر مع الخط التاريخي التطوري للكائنات، وأقل أثرا بالاستعارات الحاسوبية المعتمدة في معظم الأعمال المعاصرة والمستخدمة في علم الذكاء الاصطناعي، و(علم النفس الإدراكي :cognitive psychology)، وعلم الخلايا العصبية الدماغية. فوجهة نظر هذا الكتاب تعتبر الجسد مُهِماً بالدرجة الأولى، وترى أن مكونات الذكاء تطورت بالترابط مع الجسد وأن أهميتها تكمن في إمكانية تحوير نمط سلوك الجسد أكثر من كونها نظم تحكم مركزي أساسي. قد لا تبدو وجهة النظر العكسية هذه مثيرة للجدل عندما تطبق على التفاصيل الدنيا أو البدائية مثل الكيفية التي يتحرك بها الحيوان أو الروبوت، ولكنها تمثل تحديا جادا لوجهات النظر الحديثة عندما تطبق على مفاهيم الاستيعاب وربما بصورة أكثر على التَّفكر بحد ذاته. لذا يوجه الكاتبان هذا الهجوم بهدف تصحيح بعض المفاهيم التقليدية والحقائق العلمية القديمة المتعلقة بمفهومنا عن الذكاء.

من المعروف أن انتقاد الاتجاه السائد في أحد مجالات البحث العلمي أيسر من ابتكار مجال جديد. ولكن هذا الكتاب يعتبر أكثر من مجرد نقد وذلك لما يقدمه من

تقارير كثيرة ومتنوعة تعرض حقائق علمية مبنية على تجارب عديدة أجري معظمها من قبل مؤلفي الكتاب ولم تأتي على سبيل الصدفة، ويهدف الكاتبان من خلال عرضهما هذا إلى تقديم توجه مختلف وإطار عملي بديل نستطيع من خلاله عمل بحوث مبتكرة تُبنى على حقائق عملية يمكن بواسطتها بناء صناعة روبوتات عملية.

وقبل أن تبدأ القراءة ننصحك بأن توقف تصوراتك ومفاهيمك السابقة جميعها عن الذكاء، فقد ينتهي بك المطاف من خلال قراءة هذا الكتاب ومنذ الوهلة الأولى إلى اكتشاف حقائق مختلفة عن الذكاء أكثر مما تظن.

رودني بروكس(Rodney Brooks)

مدير معمل الذكاء الاصطناعي و علوم الحاسب بجامعة إم آى تي (MIT)

برفيسورعلم الروبوتات في باناسونيك(Panasonic)

المقدمة

وضرورة وجود جسم ،(Embodiment: التجسيد) لاحتواء الذكاء، هي فكرة هامة نشأت منذ عقدين من الزمان وشهدت تطورات كبيرة منذ ذلك الحين. ومن هذه التطورات أن بعض معامل البحث العلمي و الشركات الكبرى في مجال التقنية حول العالم أنتجت ولاتزال تطور على قدم وساق أعدادا كبيرة من الروبوتات التي تحاكي الخيال وتشابه الخلق الحقيقي أحيانا: فهناك (الروبوتات شبه البشرية: humanoid robots) وهذه الآلات تشابه البشر إلى درجة مخيفة، وهناك الروبوت الموسيقار، وهناك (التقنيات التي يمكن ارتداؤها:wearable technology) والروبوتات التي يمكن التحكم بها بعقل حيوي أو بيولوجي، والروبوتات التي تستطيع أن تتحرك ولا تمتلك عقلا، وآلات الحياة الحقيقية (الحيوروبوتية المسماة سايبورغ: cyborgs[4])، والروبوتات التي تستخدم في المنازل لمساعدة كبار السن، وأخرى تستطيع أن تُركِّب نفسها ذاتيا، بالإضافة إلى الخلايا الاصطناعية المتجددة والتي تنمو تلقائيا. وكذلك توجد شبكات محاكاة جينية منظمِة لتشكيل كائنات افتراضية. هذا التوجه التقني الجديد

المصاحب للعديد من التطورات النظرية المهمة هو نتيجة مباشرة لتجسيد نظرية الذكاء. حيث تمت بمرور الوقت، مناقشة وشرح تفصيلي لتطوير العديد من الأفكار الغامضة وقد أدى هذا إلى التوصل إلى بناء منطقي مترابط. وفي هذا الكتاب نرى أن الوقت قد حان لبدأ العمل في الخطوات الأولى نحو تكوين نظرية حول الذكاء.

لقد قدمت (أنا رولف) العديد من الحلقات الدراسية و المحاضرات لغير المتخصصين، و كان الكثير منهم قادرين على التفاعل مع الأفكار التي عرضتها بشكل مباشر وطبيعي إذ يبدو أن الأفكار التي تكلمت عنها ذات صلة باهتماماتهم الخاصة وتخصصاتهم. وأ كثر ما جذبهم هو أن البحوث التى نجريها أثبتت أن بإمكاننا أن نرى الأشياء بصورة مختلفة عما كنا نظن. فإن لنا جميعا تحيزاتنا الخاصة التي تجعلنا نعتقد بأن الأمور لابد أن تكون بصورة ما وليس بأخرى فمثلا نحن نعتقد أننا لو أردنا بناء روبوتيجري بسرعة فلا بد له من إلكترونيات سريعة، وأن الروبوت الذي يجمع الأجسام يجب أن تكون لديه إمكانية التعرف على الأجسام، أو أن الحشرة ذات الستة أرجل يجب أن يكون لديها برنامج تحكم مركزي في الدماغ لتنسيق حركة أرجلها الستة أثناء السير. ولكن

المدهش هو أن نجد أن كل ما سبق ليس حقيقيا وهذا ما سنوضحه في الكتاب.

لذا شعرت أنه بدلا من أن أكتب نصا علميا متخصصا آخر مثل كتابي: (فهم الذكاء Understanding Intelligence)، الذي شاركني في كتابته كريستيان شير (Christian Scheier) عام 1999م، فإنه قد يكون من المناسب أكثر في هذا الوقت نشر كتاب بأسلوب علمي عام يمكِّن غير المتخصصين من القراء من فهم محتوياته. حيث أن مجال العلم والتقنية ليسا مجالين منعزلين في الوقت الحاضر بل يتفاعلان مع الأوجه الاجتماعية والسياسية والاقتصادية لمجتمعنا. وأحد تأثيرات هذا التفاعل أنه يزيد من الحاجة إلى تعديل الأسس التي تقوم عليها البحوث، وأنا مقتنع أنه بإمكاننا تقديم منظور جديد ليس فقط عن الذكاء الإصطناعي ولكن بشكل أعم عن الطريقة التي ننظر بها إلى أنفسنا والى العالم من حولنا. وعليه أعتبر هذا الكتاب محاولة لترجمة النتائج العلمية والرؤى التي حصلنا عليها إلى مستوى اللغة المتداولة حتي يتمكن الجميع من فهمه.

الأهداف والأبعاد:

لهذا الكتاب هدفين: فهو من من ناحية يستكشف تطبيقات التجسيد (كيف أن الجسد[5] يؤثر على الذكاء)

لبناء المراحل الأولى لنظرية الذكاء وأخيرا يستعرض إمكانية البرامج التطبيقية الواسعة لهذه الأفكار المطروحة. ومن ناحية أخرى فإنه يبين إمكانية رؤية الأمور بشكل مختلف عن المعتاد. لذلك فهو كتاب عن المفاهيم معد لجمهور واسع في التعليم والأعمال وتقنية المعلومات والهندسة والتسلية وأيضا للأكاديميين من كافة فروع ومستويات المعرفة العملية وبالذات لأولئك المختصين بعلم النفس وعلم الخلايا العصبية الدماغية والفلسفة واللغويات والأحياء. وأخيرا وليس أخرا، فإن هذا الكتاب موجه لأي شخص معني بالتقنية ومستقبلها وتطبيقاتها في المجتمع. ومن الجدير بالذكر أن فهم الأفكار المقدمة في هذا الكتاب لا يحتاج إلى تدريب متخصص أوتعليم محدد ولتوضيح الأمور حاولنا تقديم خلفية معلوماتية موضحة بالأمثلة بالإضافة إلى ذكر العديد من المراجع الأخرى التي تسهل على القارئ استيعاب المفاهيم الصعبة عند الرجوع إليها.

يتكون لب النظرية من مجموعة (مبادئ التصميم للنظم الذكية:design principles for intelligent systems). وإن السبب وراء اختيار "مبادئ التصميم" لنظريتنا هو أنها طريقة مختصرة وواضحة لوصف الرؤى عن الأنظمة الذكية بصفة عامة

ولتقديم أساليب تعليمية اجتهادية ملائمة لبناء أنظمة اصطناعية فعلية مثل الروبوتات بصفة خاصة. وفي الحقيقة فإن بناء الأنظمة ضروري، لأننا بحاجة لتصميم وتركيب أنظمة اصطناعية ذكية حتى يسهل علينا فهم الأنظمة الذكية بشكل عام: ويطلق على هذا الأسلوب) المنهج التركيبي: synthetic methodology) ويعرف بأنه طريقة الفهم بواسطة التركيب والبناء – وهي الأساس لدراسة منهج الذكاء الاصطناعي – والتي يمكن وصفها بعبارة (الفهم من خلال البناء: understanding by building). وكما سنوضح بالعديد من الأمثلة، فإنه من خلال بناء الأنظمة الاصطناعية، يمكننا أن نتعلم عن الأنظمة البيولوجية الحيوية وأيضا عن الذكاء بصورة عامة. ومن الشيق أن نلاحظ أن هذا الأسلوب لا يساعدنا فقط على دراسة أنماط الذكاء الطبيعية ولكنه أيضا يمكننا من تشكيل أنواع جديدة من الذكاء غير موجودة حاليا أو كما يقول كريس لانجتون (Chris Langton) مؤسس علم الحياة الاصطناعية في كتابه (الذكاء كما يمكن أن يكون: (intelligence as it could be). وهكذا فإن ما نهدف إليه ببناء الروبوت هو تعلم شيء ما عن الذكاء و ليس بناء أجهزة روبوتات متطورة تقنيا. وعليه فالكتاب

لايسلط الضوء على مجموعة العمليات الهندسية المعقدة أو التفاصيل الإرشادية عن كيفية بناء الربوتات لكنه يوضح الرؤى الأساسية التي تبرز كنتيجة لتجربة بناء الروبوتات.

لقد حاولنا في هذا الكتاب أن ندعم أبعاد الأفكار المطروحة ونؤكد أنها قابلة للتطبيق بشكل واسع في مجالات تتعدى حدود علم الذكاء الاصطناعي، وذلك من خلال تقديم أمثلة في مجالات عديدة مثل (حاسبات كل مكان: ubiquitous computing)[6]، والإدارة الإستراتيجية، والذاكرة الإنسانية، وتقنيات الروبوتات المستخدمة في الحياة اليومية. كما نأمل أن يستمتع القارئ بدراسات الحالة المقدمة وأن يشجعه ذلك على تطبيق هذه الأفكار في دائرة اهتماماته الخاصة.

ربما يجب علينا أن نعلق باختصار، على مصطلح (الذكاء الاصطناعي: artificial intelligence) قبل أن نمضي قدما في موضوع الكتاب. لقد مر هذا المجال بتغيرات أساسية، مع ظهور مفهوم التجسيد الذي ظهر منذ حوالي العشرين عاما، لحد أصبح فيه مصطلح (الذكاء الاصطناعي المجسد: embodied artificial intelligence) مستخدما بديلا للمصطلح الأول. كما أننا نشرنا كتابا سابقا تحت هذا العنوان بالذات

ولكننا في ،.lida et al) ،(آيدا وآخرون، 2004م هذا الكتاب الحالي سوف نتجنب استخدام مصطلح "الذكاء الاصطناعي المجسد" لأنه يوحي بطريقة ما أن هناك مجالا شاملا و"حقيقيا" للذكاء الاصطناعي كما يقترح وجود مجال فرعي صغير آخر يسمى الذكاء الاصطناعي "المجسد". وهو وصف نشعر أنه غير دقيق. وكما سنفصل ذلك لاحقا، فهناك اتجاهين جوهريين في الذكاء الاصطناعي: الاتجاه الأول، ويتعلق بتطوير روبوتات ولوغاريتمات نافعة. والاتجاه الثاني، يركز على فهم الذكاء، سواء كان ذلك حيويا بيولوجيا أو غير ذلك. وبما أن نظرية التجسيد أساسية لإنجاز أي تطور في الاتجاه الثاني، فالذكاء الاصطناعي في هذا المجال من البحث لابد .أن يبقى بالضرورة مجسدا

هناك تعليق أخير مهم قبل أن ننتقل إلى محتويات الكتاب. فعلى الرغم من أن مادة الكتاب غالبا ما تكون نظرية لحد ما، مما قد يتطلب التركيز من جانب القارئ إلا أننا حاولنا أن نجعل الكتاب ممتعا للقراءة عن طريق تقديم العديد من الأمثلة. كذلك يحتوي موقع الكتاب على الانترنت (www.ifi.unizh.ch/groups/ailab/HowTheBody) على العديد من روابط الفيديو والمواد

المدعمة الأخرى بالإضافة إلى منتدى للنقاش. ولجعل الكتاب أكثر جاذبية، فقد قام شون آيواساوا (Shun Iwasawa) وهو فنان وعالم في الحاسب الآلي من جامعة طوكيو بتصميم رسوم توضيحية (بطريقة المانجا اليابانية: Manga–style) بمهارة فنية وتقنية عالية. ونرجو أن تحفز هذه الرسوم اهتمام القارئ وتمكنه من الإحساس بالمتعة والمرح اللذان يولدهما التفكير المستقبلي المرتبط بهذا المجال من الدراسات.

خارطة الكتاب:

يحتوي هذا الكتاب على ثلاثة أجزاء رئيسية. الجزء الأول هو مقدمة لتعريف القارئ بمحتويات الكتاب ومفاهيمه الأساسية. الجزء الثاني هو لب الموضوع ويقدم تلخيصا لمحاولاتنا لتطوير نظرية الذكاء. الجزء الثالث يطبق النظرية وبشكل خاص نظريات "مبادئ التصميم" التي طورت في الجزء الثاني على عدد من دراسات الحالة التي تتجاوز مجال الذكاء الاصطناعي الأساسي. أما الجزء الأخير من الكتاب وهو الفصل الرابع فيقدم ملخصا للنقاط الرئيسية ولنتائج موضوعات الكتاب.

في الفصل الأول سوف نعرف المصطلحات المستخدمة في الكتاب: (التفكير: thinking)، (الإدراك: cognition)، و(الذكاء: intelligence)، وسوف

نناقش كيف أن الذكاء سحر الناس في جميع مناحي الحياة عبر التاريخ. كما سنستعرض مجال الذكاء الاصطناعي والمفهوم التجسيدي للذكاء. يقدم الفصل الثاني نظرة عامة عن مجال الذكاء الاصطناعي مما سيساعد القارئ على إدراك الأسئلة البحثية المطروحة المتعلقة بالموضوع حاليا ومما سيمكنه من الإحساس بالصعوبة التي تتخلل القيام بالأبحاث فعليا في هذا المجال العلمي المتعدد الفروع واكتشافه.

الجزء الثاني هو محاولة لوضع النقاط الأولى على الحروف في نظرية الذكاء. هذا الجزء هو قلب الكتاب لذا فهو الجزء الأصعب من ناحية المفاهيم. وللتيسير على القارئ حاولنا أن نضمن الكتاب العديد من الأمثلة لشرح الأفكار المجردة لكي ندعم مناقشتنا.

الفصل الثالث يبين نوع النظريات التي ندرسها ويقدم إطارا عاما عن طريق عرض العديد من المفاهيم والمبادئ الهامة مثل) الاستجابة - والتنوع :diversity - compliance) و(الإطار المرجعي :frame of reference) و(المنهج التركيبي :synthetic methodology) و(المنظور الزمني :time perspectives) و(السلوك غير المبرمج :emergence). ويحتوي هذا الفصل على قليل من

الفلسفة العلمية التي استخدمناها لتوضيح طبيعة النظرية ولوصف معنى التقدم بصورة ملموسة والعمل في هذا المجال. وكمثال على ذلك نضرب ثلاث (إطارات زمنية: time frames) في دراستنا للسلوك: (هنا والآن: here and now)؛ (التعلم والتطوير: learning and development)، والإطار (التطوري: evolution). ويدور كل من الفصول الرابع والخامس والسادس حول هذه الإطارات الزمنية المختلفة.

يصف الفصل الرابع خواص كائنات[7] العالم الحقيقي ثم يوضح مجموعة من (التصاميم الإجتهادية: design heuristics) والتي نطلق عليها مبادئ تصميم – النظم الذكية – ويمكن أن نستخدمها لترشدنا ليس فقط في هندسة الكائنات الاصطناعية بل أيضا تساعدنا في فهم الكائنات البيولوجية الحية. فمبادئ التصميم هذه غالبا ما تركز على الإطار الزمني "هنا والآن". الفصل الخامس يستكشف قضايا التحليل والتصميم من (المنظور التطويري: developmental perspective)، ويدرس كيف يمكن أن يتشكل السلوك الإدراكي العالي المستوى من خلال عملية التطوير الجيني وكيف أن الإدراك يتكون تدريجيا كلما كبر الكائن ويتحول من صورة إلى أخرى إلى أن يصبح الكائن مكتمل النمو (بالغا

فعلى سبيل المثال: كيف يمكن أن تتكون جمل .(adult:
متكاملة ومتصلة ذات دلالة ومعنى في نظام ما بعد
معالجتها وهي في الأساس شيء مجرد ومتقطع مثل
الرموز والحروف – ونحن كلنا عبارة عن أنظمة مستمرة
–مع مرور الزمن؟ هناك تحد مثير ولابد من التطرق إليه
بشكل محدد وهو علاقة المشي بالتفكير أو بصفة عامة
التحريك بالتفكير. وهذا أهم ما سوف نستكشفه بالتفصيل
في هذا الفصل. ثم نختتم هذا الفصل بمجموعة من مبادئ
التصميم حيث يحدث التطوير بمرور الزمن. يركز الفصل
السادس على كيفية استخلاص الأفكار من الأطوار
البيولوجية الحيوية لتصميم كائنات – لها أجسام متكاملة
ومجسات إستشعارية ومحركات وعقول – إبتدءا من
الصفر. هنا نتوقف نحن كمصممين وندع نظم محاكاة
الأطوار تقوم بالعمل نيابة عنا. فالهدف هو أن ندع
الأطوار تصمم لنا كائنات إفتراضية تستطيع أن تؤدي
مهاما ذات خاصية تتدرج في مستوى التعقيد حتى تصل
هذه الكائنات الى مرحلة يمكننا معها أن نصف فيها
سلوكها بأنه أصبح إدراكيا. أحد أهداف هذا الفصل هو
artificial :إستعراض قوة (التطور الإصطناعي
تحديدا سوف نقدم بعض الأمثلة التي .(evolution
تفوقت فيها نظم هذه الأجهزة التطورية على البشر في

أداء بعض المهام. وبينما يركز الفصل الخامس على حياة الفرد الزمنية، في الفصل السادس يتسع الإطار الزمني ليشمل عدة أجيال من الكائنات، كما أننا نوسع رؤيتنا لنأخذ في الاعتبار ليس فقط (كائنات فردية: (single agents[8]: ولكن من (مجموعات الكائنات الكونية populations). مرة أخرى نلخص النتائج الرئيسية كمجموعة من مبادئ التصميم و لكن هذه المرة نركز على (النظام التطوري: evolutionary system).

يناقش الفصل السابع ما تعنيه دراسة مجموعات الكائنات الكونية بدلا من الأفراد. عند دراسة هذه المجموعات فإن مايهمنا هو ظواهر سلوك الذكاء غير المبرمج في مجموعات الكائنات. أو بكلمات أخرى الظواهر أو الأنماط السلوكية العالمية السائدة في المجموعة والتي تنتج عن تفاعل الكائنات مع بعضها البعض دون معرفة النمط العالمي. وغالبا ما يشار إلى هذه الأنواع من السلوك الذكائي غير المبرمج (الذكاء التجميعي: collective intelligence). وسوف نقدم نوعا آخرا من الذكاء التجميعي له خاصية يطلق عليها: (روبوتات الوحدات المرنة modular robotic) مثل الروبوتات المكونة من وحدات مرنة مختلفة بحيث تستطيع وحداتها المختلفة عند التفاعل فيما

بينها أن تشكل أنماطا جديدة من السلوك التجميعي، وفي الروبوتات المرنة يمكن النظر إلى كل وحدة على حدة أنها كائن منفصل بالإضافة إلى الروبوت الرئيسي المكون لها. ولقد لخصت أهم النقاط الرئيسية الواردة في هذا الفصل ضمن مجموعة من مبادئ التصميم للذكاء التجميعي.

الجزء الثالث يناقش عدداً من دراسات الحالة التي تستعرض تطبيقات لمفاهيم و مبادئ التصميم التى تم تطويرها في الجزء الثاني على نماذج من المشكلات التي تقع خارج النطاق الأساسي للذكاءالاصطناعي. وسوف ننظر إلى حاسبات كل مكان، الإدارة، (علم نفس الذاكرة البشرية: psychology of human memory)، وعلم الروبوت و تقتيات الذكاء الاصطناعي في حياتنا اليومية. وسوف نبين أنه من الممكن أن يلقي مفهوم التجسيد ضوءا جديدا على هذه الموضوعات. وتعتبر دراسات الحالة ذاتية المضمون حيث يمكن قراءتها بأي ترتيب بعد أن ينهي القارئ الفصول من 1 إلى 7. في الفصل الثامن سوف نناقش موضوع حاسبات كل مكان، وهو أحد فروع المعلوماتية الذى ينمو بشكل تسارعي ويتشارك مع علم الذكاء الاصطناعي في الكثير من الأفكار. وفي هذا المجال الجديد، فإن الهدف هو استكشاف إمكانيات وضع

الحاسبات "في كل مكان": في السيارات والملابس والأكواب والأحذية والمباني والأجهزة المنزلية والهواتف المحمولة وأنظمة خدمة المستهلكين بصفة عامة، كما يمكن دمجهم بشكل تكاملي مع شبكات الاتصالات التي تتزايد في الحجم والتعقيد. الفصل التاسع كُتِب بقلم سيمون جراند ورولف فايفر (Simon Grand and Rolf Pfeifer)، ويعرض محاولة أولية لتطبيق نظرية الذكاء المجسد في عالم الأعمال والتجارة، وفي التصميم والتركيب العملي لمنتجات جديدة للأعمال والشركات في عالم متغير لا يمكن التنبؤ به. هذا الفصل عُنِي بإظهار كون مبادئ التصميم حقيقة قابلة للتطبيق الفعلي وأن لها إستخدامات عديدة. الفصل العاشر يقدم دراسة حالة لذاكرة الإنسان تبين من ناحية كيف يمكن للتجسيد أن يقدم منظورا جديدا عن المشكلات المعروفة لدينا قديما ومن ناحية أخرى كيف يمكن توظيف التجسيد لفهم التوجهات الحديثة في أبحاث الذاكرة. في الفصل الحادي عشر نحاول أن نقيم الرغبة والجوانب الإقتصادية لامكانية تطوير جميع أنواع الروبوتات، ونركز على تقييم الروبوتات شبه البشرية التي يمكن أن تساهم في خدمة حياة البشر اليومية للأفراد وفي مجتمعاتنا بصفة عامة.

الجزء الرابع، هو الجزء الأخير من الكتاب، وفيه تلخيص للنقاط الرئيسية لنظريتنا كما يعرض مراجعة لمبادئ التصميم في الفصل الثاني عشر. حيث قدمنا أيضا قائمة شاملة للموضوعات المنتقاة التي جمعت كل ما نشعر أنه من الرؤى الرئيسية التى تمت مناقشتها في الكتاب. وفي الختام نعود لأحد الأهداف الرئيسية للكتاب ونقدم عرضا لمجموعة من الأمثلة لنوضح كيف يمكن النظر للأشياء بطرق مختلفة.

شكر و تقدير:

نود أن نشكر كل أعضاء معمل الذكاء الاصطناعي في جامعة زيورخ لمناقشاتهم المستمرة وحماسهم وابحاثهم المتميزة، وللأفكار العديدة التي وجدت في النهاية طريقها داخل هذا الكتاب. كما نتوجه بالشكر الجزيل لأصدقائنا أولاف ،(Yasuo Kuniyoshi) ياسوكونييوشي (Akio أكيو اشيجورو ،(Olaf Sporns) سبورنز كو ،(Hiroshi Yokoi) هيروشي يوكو ،(Ishiguro (Fumio فيوميو هارا ،(Koh Hosoda) هوسودا (Hiroshi وهيروشي كوباياشي ،(Hara الذين واصلوا تشجيعنا لنتقدم في (Kobayashi (Josh) المشروع بسرعة قدر الإمكان. كما يود جوش أن يعبر عن صدق مشاعره بالشكر العميق والعرفان إلى

لتقديم الوقت و المكان (Hod Lipson) هود ليبسون لانجاز هذا المشروع، ونود أيضا أن نعبر عن شكرنا لكل الوكالات الممولة التي ساعدتنا على تنفيذ المشاريع واخراجها على المستوى التطبيقى لوضعها ضمن هذا الكتاب مثل) المؤسسة السويسرية القومية للعلوم:
Swiss National Science Foundation)، للاتحاد (IST Program) برنامج آى إس تي الأوروبي. و أكثر من ذلك فأنا رولف (Rolf) أود أن أعبر عن شكري الخاص إلى ياسوا كونيوشي (Yasuo Kuniyoshi) و تومومسا ساتو (Tomomasa Sato) وهورشيكو أونيو (Hirochika Inoue) ويرشي ناكامورا (Yoshi Nakamura)) وجميع الأعضاء في (قسم المعلومات الروبوتية:
Department of Mechano - Informatics) لدعوتهم لي إلى جامعة طوكيو لأكون أستاذ القرن الواحد والعشرين بالجامعة لمركز الامتياز في علم المعلومات والتقنية حيث تمت كتابة معظم فصول هذا النص، من خلال منظورهم ورؤيتهم للكائنات الذكية كنظم ديناميكية معقدة أثرت بعمق في محتويات هذا الكتاب.

كما أوجه الشكر الجزيل أيضا لجابريل جوميز (Gabriel Gomez) الذي بحث العديد من القضايا

المتعلقة بهذا المشروع. ونقدم جزيل التقدير لماكس لونجريلا (Max Lungarella) الذي ندين لبحثه في الدكتوراه وأيضا لمناقشاته الشخصية العديدة لمحتوى الفصل الخامس. وأيضا أفكار فوميا إيدا (Fumiya Iida) والتي ندين لها بعنوان الفصل الخامس: (من التحريك إلى الإدراك:From Locomotion to Cognition) والتي كانت وساعدت بقوة في تشكيل أفكار الفصل الخامس ونحن ممتنين جدا لشون ايواساوا (Shun Iwasawa) لمساعدته المتميزة التعليمية والملهمة والتي ساهمت في تخطي الفجوات بين دراسات العلوم والهندسة والترفيه.

ونشكر أيضا العديد من الباحثين حول العالم من مختلف التخصصات على أفكارهم التي قدموها والتي ألهمتنا وأثرت على مناقشاتنا ومكنتنا من وضع إطار مترابط للكتاب. ومما لاشك فيه أنني أتقدم بأشكر لرودني بروكس (Rodney Brooks) على بدء هذا المجال البحثي المثير في المقام الأول، وعلى مشاركته الكتابية في تقديمه للكتاب.

و نود أيضا أن نعبر عن شكرنا لمطابع إم آى تي (MIT Press) وبالذات لبوب بريور (Bob Prior) لدعمه لهذا المشروع، و لسوزان شيفر (Suzanne

التي نقحت الكتاب، ولكل المراجعين(Schafer
المجهولين الذين ساعدوا بنقدهم البناء علي تحسين
جودة المخطوطة ونود أن نشكر بريتا جلاتزيدر (Britta
Glatzeder) التي ساهمت في إعداد المراحل الأولى
من هذا العمل والتي ندين لها بعنوان الكتاب. رولف أيضا
يود أن يشكر كلوديا ورث (Claudia Wirth) على
مساعدتها في تفرغها للعمل لإنهاء مادة الكتاب وتحمل
العبء عنه بحيث ساهمت في تشغيل المعمل خلال فترة
غيابه الطويل.

وهناك الكثير والكثير من الآخرين: الكلية، وأعضاء
في الكلية، والطلاب، وطاقم العمل، والأصدقاء، والعائلة
الذين دعمونا لنخرج هذا الكتاب في أحلك الأوقات،
نشكركم جميعا من أعماق قلوبنا فنحن مدينين لكم جميعا
وبدونكم ما كان لهذا العمل أن يكتمل. كما أشكر أنا جوش
(Josh) عائلتي –توبي (Toby) و كارول (Carol)
لتفهمهم ولمساعدتي في رحلتي –(Ralph) ورالف
الطويلة للوصول الى هذه المرحلة. وأنا رولف (Rolf)
أود أن أشكر بالخصوص ولدي سيرج وميستشا
اللذان شجعاني دائما على (Serge and Mischa)
المواصلة في الأوقات الصعبة.

الجزء الأول:الذكاء، الذكاء الإصطناعي، التجسيد، وما يدور حوله الكتاب

كيف تشكل أجسادنا طريقة تفكيرنا؟ هل هذا فعلاً السؤال الصحيح، الذى علينا إجابته، أم أنه ربما علينا تكوين السؤال بصورة مخالفة ليصبح : كيف يؤثر تفكيرنا في تشكيل جسدنا؟ يبدو في ظاهر الأمر واضحاً أن الطريقة، التي نتحرك و نمشي ونتحدث و نكتب و نرقص و نغني بها، يتم التحكم فيها من خلال الدماغ، وبناء على هذا، نستنتج أن الدماغ هو الجهاز المسؤول الذي يتحكم في الجسم بأكمله؛ حيث إنه من المعلوم لدينا، أننا نقرر أولاً ثم نقوم بالنشاط المطلوب المترتب على قرارنا، وعلى التحركات اللازمة لتنفيذ ذلك القرار ثانياً، ويحدث ذلك في أبسط النشاطات اليومية، عندما نريد أن نشرب كوباً من الشاي، أو عندما نريد أن نذهب إلى السينما لمشاهدة فيلم ما، أوعندما نريد أن نقوم ببعض التمارين لرفع الأثقال، فنحن نقرر أولاً ثم نقدم على الفعل بعد ذلك. والمفهوم لدينا أن الدماغ هو الذي يسيطر على الجسم أثناء الوعي و يتحكم فيه أيضاً في مرحلة اللاوعي، وبدون استئذان منا. فهناك العديد من الأمثلة الواضحة،

التى تُؤكِّد حدوث التَّحكم في اللاواعي، ومن ذلك عملية الهضم، ووظائف البقاء على الحياة، كالتنفس وتنظيم ضربات القلب؛ فنحن لا نصدر أوامر لمعدتنا لتهضم، كما أننا لا نتحكم في حركة أرجلنا عندما نمشي بشكل واع، إلا في حالة وجود اضطرابات؛ حيث يتم ذلك بحركات أوتوماتيكية لا إرادية. إذاً، أن فتحكم الدماغ في أرجلنا أثناء المشي في الحالة الطبيعية يكون لا إرادياً، ويتم بصورة ميكانيكية آلية كبيرة. أما إذا حاولنا إقحام الإرادة والتحكم في تنظيم كل حركة لنقل أقدامنا، فقد نتعثر. وهذه الظاهرة يمر بها الكثير منا أثناء تعلمه الرقص أو لعب رياضة جديدة. إذاً، إننا نتعثر أثناء تعلمنا في البداية، عندما نحاول التحكم بحركاتنا بشكل واع. وهذا كما يبدو، يقودنا إلى أن نجزم بأن الدماغ يتحكم في كل شيء. كما أن هناك أدلة كثيرة تشير إلى أننا نستطيع أن نؤثر على آداء وظائف أجسادنا، من خلال أنواع عديدة من التحكم الذهني، مثل الاسترخاء وتقنيات التأمل، التى تُحسِّن شُعورنا بأنفسنا وبكل ماحولنا. وهناك العديد من الأمثلة في المجال الطبي، التى تُثبِت أن الأمراض الجسدية قد تنتج من عمليات و مؤثرات ذهنية، ومن هذه الأمراض ماله علاقة بالضغط النفسي والتوتر والإحباط

والاضطرابات العصبية. وهذا بدوره يُهيىء لنا مرة أخرى أن الدماغ هو المسيطر على الجسد.

إن عنوان كتابنا هذا يقترح تماماً عكس ما تُؤكده لنا النتائج المعروفة لدينا، من أن الدماغ هو المسيطر على الجسد، حيث نقترح في الكتاب أن أجسادنا تؤثر على تفكيرنا، وليس العكس. والسؤال المطروح هنا هو كيف يستطيع الجسد أن يؤثر على طريقة تفكيرنا؛ بل ويساهم في تشكيلها ؟ في حين أننا نستطيع أن نفكر في أي شيء نريده ونختاره وبالطريقة التى نرغب بها، وعندما نشاء. حيث أن الأفكار مجردة ومجانية، وقد تكون وهمية في بعض الأحيان، أليس كذلك؟. فهذا الكتاب يحاول أن يقدم إجابات لبعض هذه الأسئلة، حتى إذا لم نستطع تقديم حلول دقيقة لجميع الأسئلة المطروحة. كما أننا سوف نوضح أن الأفكار قد لا تكون حرة و مستقلة، بقدر ما نريدها أن تكون، وأنها في الحقيقة مقيَّدة - ومشكَّلة - إلى حد كبير، بأشكال بُنية أجسادنا. كما أننا سوف نُبين بأن الجسد، ليس فقط يحد ويقيد التفكير؛ بل أيضاً يحفز القدرة على التفكير، ويمكننا من التأمل، وإن ما يَحسم الموضوع هنا، ويفسر جميع ذلك، هو مفهوم «التجسيد». فهناك العديد من المواد المتضمنه في علوم الأدب الشعبي التي تشير إلى (حكمة الجسد: the

والتي منها: لغة الجسد، ،(wisdom of the body
وطرق الاتصال غير اللفظي، والطريقة التى نتقبل بها أجسادنا بالشكل التى هي عليه، لنشعر بالرضا والأمان من حولنا. فمن الطبيعي أن ندرك بأن أفكارنا تتأثر بحالة أجسادنا الصحية، حيث يُؤثِّر مدى إرهاقنا وألمنا، أوشعورنا بالقوة والصحة والرضا بأشكالنا، واستمتاعنا بالراحة على طريقة تفكيرنا. وهذا الموضوع يُعتبَر في غاية الأهمية لاستمرار نقاشنا. وفي جميع الأحوال، فإن ما يجول بذهننا من أفكار في كتابنا هذا حول الموضوع، هو أكثر تحديداً من ذلك: فالفكرة التي سوف نسعى لإثباتها، هي أن أنواع الأفكار التي نستطيع أن ننتجها في نهاية المطاف، تنشأ أصلاً من داخل أجسادنا، وهو مانسعى لإختباره أيضاً. وتقريباً، وباختصار، فالمنطق يدور لدعم وإيضاح هذه الفكرة كما يلي.

التصنيف أو التمييز: (categorization) هو أحد القدرات الابتدائية لأي مخلوق: وهو يتمثل في القدرة، التي تمكننا كمخلوقات من تحديد الفروق في العالم الحقيقي الواقعي المحيط بنا. فلو أننا لا نستطيع التمييز بين ما يؤكل وما لا يؤكل، أو التمييز بين الأشياء والأجسام، والمواقف الخطيرة من الآمنة، أوالتعرُّف على والِدينا من سائر البشر، أو منزلنا من بقية منازل العالم،

فإنه بالتأكيد لن يدوم بقاءنا أحياء لفترة طويلة من الزمن. وبالمثل، فإن الروبوتات، التي لا تستطيع التمييز بين الفروق الأساسية في أعمالها، لن تكون مفيدة جداً لنا - كالروبوت المنزلي، الذي لا يستطيع تمييز القمامة من التحف، والمكنسة الكهربية من غسالة الأطباق، والأطفال من الحيوانات الأليفة. وسوف نحاول أن نستعرض أن القدرة على تشكيل كل فئة أو صنف مرتبط مباشرة «بتجسيدنا»، وأن تجسيدنا مركب من الشكل الجسدي، بالإضافة إلى الخواص المادية المكونة والمركبة لهذا الجسد. فعلم دراسة (الشكل الجسدي (morphology): يتعلق بتكوين الجسد، ويشمل تركيب وبنية شكل الجسم، وأنواع الأطراف، ومواقع اتصالها، وأعضاء الاستشعار الحسية (مثل: العينين، والأذنين، والأنف، والجلد للإحساس باللمس وشدة الحرارة، والفم للتذوق)، وكذلك أماكن وجودها في الجسم. أما الخواص المادية المكونة للجسد، فمركباتها لها تأثير على شكل ووظيفة الجسد، ونذكرعلى سبيل المثال، تشوه أطراف الأصابع والجلد، أومدى مرونة أوتار العضلات. فعند التفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي (Real wontd): يثار ويحفز[م29] الجسم بطرق محدودة جداً، وهذه الإثارة توفر المواد الخام للعقل، فيستشعر ذلك ليعمل معها. وكما سنرى

لاحقاً، فإن هذه المواد الخام من الممكن استخدامها، لتكوين الفئات والأصناف المختلفة - الأكواب، والتفاح، والحيوانات الأليفة، والأشخاص - وهذه بدورها تفسر مفهوم البيئة في هيئتها الطبيعية.

إننا، بالطبع، نستطيع بناء أصناف مجردة جداً في مخيلاتنا، ولكن حتى هذه الأصناف الوهمية تتأثر أيضاً بالتصنيفات الأساسية، التي باستطاعتنا تشكيلها. ولقد ناقش عالم اللسانيات، والفيلسوف في جامعة كاليفورنيا، في بيركيلي، جورج لاكوف (George Lakoff) كتابه الثوري عن العلوم الادراكية، الذي يحمل عنوان (من أين أتت الرياضيات: Where Mathematics Comes From)، الذي ألَّفه بالمشاركة مع رافاييل ننيز (Rafael Núñez) من معهد العلوم الادراكية بجامعة كاليفورنيا بمدينة سان دييغو، أنه حتى أفكار الرياضيات المجردة، مثل مفاهيم الأعداد الحقيقية، أو المجموعات، نبعت من التركيبة المحددة لأجسامنا وطبيعتها، ولم يكن من الممكن تصويرها بشكل آخر. فالمفاهيم الرياضية، كما فسرها لاكوف وننيز، مبنية على استعارات (مثلاً: نقطة «تتحرك» نحو اللانهاية). وهذه الاستعارات بدورها مبنية على أساس كيفية تركيبة أجسادنا «تجسيدنا». ويوضح الكاتبان أفكارهما هذه

بطريقة تجريبية مستخدمان في نقاشاتهما الإشارات والرموز والمعادلات، التي عادة مايستخدمها الرياضيون لشرح أفكارهم. أما فرضيتنا، التى سوف نطرحها، هي أنه ليس فقط القدرة على التمييز، أو التصنيف، تعتمد أساساً على الجسم، وتشكلها هيئة الجسد، ولكن بصفة عامة، يمكننا القول بأن الإدراك أيضاً يعتمد على أساس التجسيد، ويشمل ذلك الإدراك المكاني، والإدراك الاجتماعي، وحل المشكلات، والمنطق، واللغة الطبيعية.

في الجزء الأول من هذا الكتاب، سوف نقدم خلفية عامة، ففي الفصل الأول سيتم استعراض شرح مختصر لمفاهيم مختلفة، مثل التفكير، والإدراك، والذكاء، كما سنناقش باختصار موضوع (مشكلة الجسم - و - العقل: mind-body problem) الشهيرة[29]. كما سنبحث في أسباب اهتمام الناس عبر التاريخ بموضوع الذكاء. وسنوضح أهداف الأبحاث في مجال الذكاء الاصطناعي، لأن هذا هو المنهج الرئيسي، الذي سنتبعه في هذا الكتاب. ثم سنقدم فكرة التجسيد، ونحدد آثارها البعيدة المتطرفة والمدهشة. وإن فحص هذه الأفكار والبحث في آثارها وتأثيرها، بدون شك، سوف يغير، بصورة أساسية، الطرق التي ندرك بها أنفسنا والتى ندرك بها العالم من حولنا، وهذا غير مبالغ فيه على الإطلاق.

لقد غيرت فكرة التجسيد مجال البحث العلمي بشدة، عندما ظهرت منذ عقدين من الزمان تقريباً. لأجل ذلك سنقدم في الفصل الثاني مسحاً شاملاً لهذا المجال، نجيب فيه عن استفسارات أساسية، مثل: ماذا يفعل علماء الذكاء الاصطناعي؟ وكيف يرون أنفسهم؟ وكيف يعملون؟ كما سنحاول تقديم نظرة توضيحية شاملة ومختصرة في ذات الوقت للتطورات المثيرة والفاتنة في هذا المجال البحثي، لأننا نشعر أن معرفتنا بها ستسهل علينا كثيراً مناقشة وشرح النظرية قيد البحث في الجزء الثاني من الكتاب.

الفصل الأولالذكاء والتفكير والذكاء الاصطناعي

أنا أفكر، اذا أنا موجود" هذه هي الكلمات الشهيرة" التي قالها المفكر الفرنسي رينيه ديكارت (René Descartes) في القرن السابع عشر في كتابه المنشور: Discourse on (خطاب حول الأساليب Methods) عام 1637م. والمدهش في هذه العبارة أنها توحي بأن محور وجودنا وبقائنا أحياء ليس الجسم بل هو العقل! وكما يرى ديكارت أننا عبارة عن نظامين منفصلين: الجسم والعقل. وهذا التقسيم المنفصل يثير التساؤل عن كيفية ارتباط هذين النظامين وتفاعلهما معا أو ما يسمى (بمشكلة العقل - الجسم :mind - body problem) انظر مربع إطار التوضيح رقم 1.1). أحد أهم التحديات التي يثيرها التساؤل حول مشكلة العقل - الجسم هو ما مدى كيفية وتأثير الأفكار –التى تتكون في العقل وهو جزء غير مادي من الجسم – على الجسد المادي. فعلى سبيل المثال أستطيع أن أقرر في عقلي أن أرفع كوبا من القهوة لأخذ رشفة، بالتالي فإن ذراعي ويداي ستبدآن في التحرك لآداء ذلك النشاط أو العمل المطلوب. وهذه الطريقة المألوفة التى نرغب في التفكير

بها عن أنفسنا: بأن العقل هو المسيطر على تصرفاتنا، وهذا يوحي بأننا نسيطر على سلوكياتنا وعليه فإن حياتنا عبارة عن: Cartesian ([9]موروث ديكارتي heritage) للثقافة الغربية. فأهمية الفرد – أوما يعرف بمذهب الفردانية[10] – والبقاء تحت السيطرة: هي قيمتان غالية جدا في المجتمعات الغربية: نحن كأفراد نقرر شيئا ما – هدفنا الوصول إليه مثل أن نصبح أطباء أو أن نبرع في رياضة أو لعبة معينة وإن كانت الإمساك ب[Frisbee: (القرص الطائر[11] – عندئذ نرسم خططا ونسعى لتحقيقها. أو بينما نكون في إحتفال، فنحن نقرر ما إذا كنا نرغب في مقابلة شخص ما أم لا وبعد القرار فإننا نتأهب للتوجه إليه والحديث معه. جميع ذلك يبدو طبيعيا، كما هو مألوف ومتعارف عليه من حيث الكيفية التى تكون عليها الأشياء. ولكن هل هي حقا كذلك؟ بمعنى آخر هل هذه هي الطريقة الدقيقة لوصف الأسلوب أو الوظيفة التى نعمل ونتحرك بها كمخلوقات ذكية؟ ومما ورد سرده، يمكنك أن تتوقع بأن إجابتنا على هذا السؤال ستكون بالنفي. وقد تكمن بعض الحقائق في الطريقة والكيفية التى نرى بها أنفسنا، إلا أنها تعتمد بصورة رئيسية على أمنيات، وعلى رغبتنا في تصور

أنفسنا والطريقة التى نود أن نكون عليها بدلا من الواقع الحقيقي الذي تكون عليه الأشياء (أنظر مربع إطار التوضيح رقم 1.1 لتفصيل أكثر).

)مربع اطار التوضيح (1-1
مشكلة العقل – الجسد

إن ما يسمى بالجدلية، كما أرساها رينيه ديكارت في القرن السابع عشر، تقول أن هناك نظامين منفصلين في الإنسان: عقلي (res cogitans) ومادي (res extensa). ولقد أهتم ديكارت بكيفية تخاطب هذين العالمين – العقلي والمادي– مع بعضهما. كما أثارت أفكار ديكارت الكثير من النقاشات الدقيقة والمتعمقة في الموضوع، سميت مجتمعة بمشكلة العقل - الجسد. وتعد هذه المشكلة، على الأغلب، الأشهر في فلسفة العقل، وهي تدور حول العلاقة بين العقل والجسد، أو بين العقل والمادة: أو على وجه التحديد حول كيف يمكن للعمليات الطبيعية بأجسامنا أن تحفز الظواهر العقلية المجردة مثل الوعي؟ يؤكد ديفيد شالمرز (David Chalmers)، وهو أحد أهم فلاسفة الوعي، بوضوح تام أهمية هذا السؤال بقوله: " إن الوعي هو أعظم الألغاز وقد يكون أكبر عقبة في سعينا نحو فهم علمي للكون"، (شالمرز، 1997، ص ix:). وكما توجد الكثير جدا من الأدبيات حول هذا الموضوع ولكن بدلا من تقديم عرض منهجي مفصل– فإنه يمكن للقارىء المهتم العودة الى بيبليوغرافيات وفهارس ديفيد شاملرز و توماس ميتزنجر (Thomas Metzinger) الشهيرة حول فلسفة العقل عن الإنترنت – فإننا نرغب في الاشارة والإهتمام بنقطة وحيدة وأساسية: وهي الارادة الواعية.

يوافق معظم الناس على أن الظواهر العقلية، مثل التفكير والإدراك، تولد من خلال عمليات عقلية. تخيل للحظة أن يدك موضوعة على المكتب أمامك وأنك على وشك تحريك أصبعك. في تجربة أساسية

تتم الاشارة إليها دائما، طلب عالم الخلايا العصبية الدماغية من (Benjamin Libet al ،بينجامين ليبيت وآخرون (1983م المشاركين في التجربة أن يحركوا أصابعهم تلقائيا عندما يحسون بالرغبة في ذلك. بالإضافة إلى ذلك، كان عليهم أن ينظروا إلى ساعة بها نقطة مضيئة متأرجحة وطلب منهم أن يقولوا أين النقطة على الساعة عندما يحسون" برغبة واعية في أداء تلك الحركة التلقائية." (مقتبس من ويجنر، Wegner، 2002 م ص:52). ثم سجل أيضا حركة الدماغ، أو ما يسمى باحتمال الاستعداد بواسطة جهاز electroencephalography (EEG) به مستشعرات موصلة إلى الجمجمة لرسم نشاط المخ، كما قاس حركة الأصبع الفعلية بواسطة جهاز electromyography (EMG)، وهي طريقة لقياس حركة العضلات. ولقد كانت النتائج مذهلة: تبدأ حركة الدماغ قبل أكثر من نصف ثانية من حركة الأصبع الفعلية وأكثر من قبل أن يصبح الشخص واعيا برغبته (msec) 300 ميكروثانية في تحريك أصبعه! وبكلمات أخرى: فإن الارادة الواعية للرغبة في تحريك الأصبع تحدث بعد فترة ملحوظة من بدأ النشاط العقلي المتعلق بها. وعليه فالإرادة الواعية تحدث بعد أن يكون الدماغ قد بدأ في الاستعداد للحركة. أو يمكننا القول أن الارادة الواعية العقلية لتحريك الأصبع لا يمكن أن تكون هي العامل البادىء و المسبب الرئيسي للحركة. وهذا يعاكس تماما ما نتوقعه ويعاكس الخبرة الشخصية للفرد: فنحن "نحس" أن قرارانا بتحريك الأصبع ما هو إلا تحفيز العمليات الدماغية الضرورية لتحريك الأصبع. ولكن النتيجة المفاجئة لهذاه التجربة – سواء أحببنا ذلك أم لا– هي على ما يبدو أن بدأ الفعل التلقائي لتحريك الأصبع سببه نشاط عصبي غير واع، وليس العكس. ويغنينا عن أى تعليق بأن هذه النتائج تعتبر صفعة قوية للمفهوم السابق المعروف بالإرادة الحرة. أو هل هي كذلك؟ ينوه ليبيت أنه حتى فيما إذا بدأت الحركة بواسطة قوى غير واعية، فإنه يظل هناك وقت كاف ليأخذ الشخص قرارا بعدم تحريك الأصبع أو تحريكه بعد أن يصبح الشخص واعيا بنواياه

الباطنة. وربما يترك هذا التحليل الباب مفتوحا أمام مفهوم الارادة الحرة. وكما قد تتخيل، فإن هذه النتائج قد ولَّدت نقاشات حادة في الوسط العلمي. وعلى كل حال، فإن موضوع الإرادة الحرة، هو واحد فقط من ضمن المناظرات العديدة الدائرة حول كيفية تأثير العقل والجسد في بعضهما البعض. وهذا ليس مقتصر فقط على مسألة كيفية تفاعلهما معا: ففي الحالة القصوى، يعتقد الكثير من الفلاسفة أننا قد لا نستطيع أبدا التوصل إلى كيفية تخاطب العقل مع الجسد. وكما يقول عالم فيزياء الدماغ الألماني الأسطوري دوبوا ريموند (DuBois Reymond): نجهل - نعرف (ignoramus ignorabimus). أم هل سنعرف؟ ولا تزال هذه المسائل العميقة والتي أثارها ديكارت تنتظر تفسيرا نهائيا حتى وقتنا الحالي، ولكننا نرى أن التقدم في علوم الخلايا العصبية الدماغية – وعلم الذكاء الاصطناعي – سوف يقدم لنا مسلكا علميا حديثا، بدلا من الأسلوب الفلسفي القديم في معالجة هذه القضايا.

لقد إتضح أنه بدلا من أن أفكارنا – عقولنا– تسيطر على تحركاتنا، فإن المفاجأة تكمن في أن أجسادنا تحدد أفكارنا. وهذا ماسنكتشفه وما سوف يظهره لنا عنوان هذا الكتاب: كيف تشكل أجسادنا طريقة تفكيرنا؟ نحن مقتنعين أن اكتشاف مثل هذه العلاقة بين الجسد والتفكير سوف تُفسِّر لنا لغز الذكاء بأساليب ممتعة، ونتمنى أن تقودنا حقاً إلى منظور جديد للذكاء، كما هو مقترح من عنوان الكتاب.

هذا الفصل سوف يشتمل على المواضيع التالية: أولا، سوف نختبر باختصار مصطلح "التفكير" وعلاقته بالإدراك والذكاء وذلك لإحتلال هذا المصطلح موقعا بارزا

في عنوان الكتاب. كما سنتكلم عن موضوع الذكاء ولماذا استولى على إهتمام الفلاسفة، والعلماء، والناس بصفة عامة عبر التاريخ البشري. وسوف نوضح في هذا الكتاب بصفتنا باحثين كيف سنتطرق إلى معالجة هذه القضايا من خلال إستخدام مايسمى بمنهجية علم الذكاء الإصطناعي. وعندئذ سنُنْهِي الفصل بتقديم فكرة التجسيد والتى من خلالها نشأت أكبر مساهمة "لرؤية الذكاء بصورة جديدة" وفي اعتقادنا أنها ستحمل وعودا مستقبلية حافلة لمستقبل مفهومنا عن الذكاء.

التفكير والإدراك والذكاء 1.1

لقد استخدمنا مصطلح "التفكير" فيما سبق دون الكثير من الإيضاح، مع إفتراضنا أن كل شخص لديه مفهوم واضح بصورة شاملة عن مجمل الموضوع. ولكن دعونا ننظر إلى الموضوع عن كثب و بشكل حدسي وهذه هي الطريقة التى يُعرَّف بها التفكير في معاجم علم النفس – بأنه ذو علاقة وثيقة بالوعي أو التفكير المُتعَمَّد، بشيء ما ذي مستوى عال أوتجريدي بحت. وإن المشكلة في هذا المفهوم هي أنه يعتمد على الإفتراض القائل بأن عملية التفكير إما أن تتم بصورة واعية أو غير واعية. ولكن ربما أن هذه الأمور لاتتضح للقاريء كما يجب منذ

الوهلة الأولى. وفيما يلي نستعرض أحد الأسباب الممكنة لتفسير ذلك من خلال التساؤلات والمناقشات المنطقية.

هل يفكر الأطفال حديثي الولادة؟ نحن لانستطيع الجزم بذلك، ولكن ربما أنهم لايفكرون. وقد يكون من الأرجح القول بأنهم يفكرون بمستوى أقل من البالغين. وماذا يحدث لتفكيرهم بعد مضي عدة أيام؟ أو بعد أسابيع؟ بالتأكيد أنه بعد عدة شهور أو سنين وعندما يكتمل النمو فإن هؤلاء باستطاعتهم التفكير. ولكن إذا كان هذا الطرح صحيحا، فإن السؤال الذى علينا إجابته هو في أي عمر يبدأ الأطفال حقا في التفكير؟ ومرة أخرى، فإنه من الصعب جدا الإجابة على مثل هذا السؤال، ولكن من الواضح أن مهاراتهم تنمو وتتحسن بشكل تدريجي كلما تقدموا في العمر. وهكذا فإن قدراتهم على التفكير تتحسن مع مرور الزمن. إن هذه الرؤية لتصوير "التفكير" – وبصفة عامة الذكاء أو الإدراك – يشار إليه بأنه (نهج تطويري: developmental approach) يفترض أن قدرة التفكير تتطور عبر الزمان. ومن هذا المنظور، فإن السؤال المطروح قد يتحول من "هل يفكر الكائن[12] أم لا ؟" إلى "ما هو حجم التفكير الفعلي الذي يحدث عند هذا الكائن؟". وبهذا، يمكننا التملق من النظرة السائدة التى تحد من التفكير وتعتبره خاصية

ثنائية كما هو الحال في السؤال الأول، بمعنى أن الخاصية الثنائية تميز بين الكائنات على أساس قدرتها على التفكير أو عدمه) وخلال فصول هذا الكتاب سيتم استخدام مصطلح (الكائن: agent) عند عدم رغبتنا للتمييز بين الكائنات الثلاثة: الأشخاص والحيوانات أو الروبوتات، وإن معظم ما نورده في هذا الكتاب عن الذكاء هو معنى عام ينطبق ليس فقط على البشر ولكن بدرجة أقل أو أكثر على الحيوانات والروبوتات. فعلى سبيل المثال تمتلك الكائنات خواص مثيرة ذات علاقة بالذكاء لا يمتلكها غيرها من ليس بكائنات مثل الأكواب والصخور: (وسنناقش هذا الموضوع بإسهاب في الفصل الرابع.

يبدو من الواضح أن القدرة على التفكير تزداد مع مرور الوقت كلما نمى ونضج وأصبح الكائن الحي بالغا. ولكن حتى للبالغين فإن مصطلح "التفكير" يبقي غامضا وللأغلبية العظمى من الناس ذو دلالة بالتفكير الواعي. وعلى أي حال وبالمثل فإن الوعي يعتبر مفهوما غامضا أيضا، ومرة أخرى نفترض بأن هناك خاصية ذات صفة إستمرارية بدلا من الخاصية الثنائية التى تقتضي وجود كل شيء أو لاشيء على الإطلاق. وهذا يجعلنا نشك في وجود درجة من الوعي متفاوتة، مثلا لدى البكتيريا، والحشرات، والطيور، والقطط، والكلاب، وقرود

الشيمبانزي، بدلا من الجزم بوجود أو عدم وجود للوعي بتاتا لديهم. بالإضافة إلى ذلك فإن في علم النفس الإكلينيكي هناك مفهوم عن أفكار اللاواعي، يقتضي بأن هذه الأفكار في اللاوعي تؤثر على سلوكياتنا بطرق غير مرغوب فيها على الرغم من أننا غير واعين بتأثيرها أو وجودها. ولذلك بدلا من أن نأتي بتعريف عن التفكير أو الوعي، فإنه من الأولى بنا أن نتفق على أنهما ظاهرتان ذواتا صفة إستمرارية تدريجية. ومن هذا المنطلق نحن نقف جنبا إلى جنب مع دوقلاس هوفستادتر (Douglas Hofstadter) الذى رثى في كتابه (مواضيع ماوراء السحر: سعي في جوهر العقل وأنماطه: Metamagical Themas) الفكر الثنائي والإيمان القاطع لدى مجمل الناس عند مناقشة الظواهر الغامضة مثل حقيقة الحياة والوعي وبأن النتائج لابد وأن تكون إما على شكل أبيض أو أسود. كما أضاف بأن مسيرة العلم التقدمية تبدو أكثر وضوحا من أي وقت مضى وترغمنا على تقبل أمورا لها خواص وسطية وذات صبغة بنية أو رمادية (هوفستادتر، 1985).

الوعي هو شيء غريب ومدهش ويصعب الوصول إلى أغواره وبواطن معانيه وأسراره، حيث أنه يعتمد على تجارب ذاتية يستعصي بحثها من خلال أى منهج علمي.

وعلى كل حال فإن التقدم العلمي الحديث في علم (تصوير الدماغ: brain imaging) و(علم الخلايا العصبية الدماغية: neuroscience) بصفة عامة أسفر عن نتائج مذهلة ولكنها لاتزال محيرة بعض الشىء، إنظر كريك وكوخ (Crick and Koch, 2003م). ولعل القضية الخاصة والمغرية التى تتعلق بالوعي في الإرادة الحرة، قد تم شرحها باختصار في مربع إطار التوضيح رقم 1.1. وفي هذا الكتاب سوف لن نسهب في شرح موضوع الوعي. ويظن البعض أننا اذا لم نفسر الوعي فاننا لا نستطيع أن نفهم شيئا عن الذكاء. ولكننا نأمل أن نوضح للقارىء أن هذا ليس بصحيح، وأنه بامكاننا اكتساب فهم عميق للذكاء من خلال تتبع فكرة دراسة التجسيد. وحيث أننا أيضا نناقش موضوع كيفية ظهور الإدراك من خلال نظام مجسد مادي – ويبدو ان معظم الناس متفقين على أن للوعي علاقة بالإدراك – لذا فإننا نشعرأنه لابد لنا في نهاية المطاف بأن نساهم بشيء ما في موضوع فهم الوعي على وجه الخصوص.

الإدراك، وهو متعلق بشكل وثيق جدا بالوعي، إنه مصطلح آخر عام وغامض، ويستخدم عادة للإشارة الى أنواع من العمليات غير متصلة مباشرة بالآلية الحسية الإستشعارية أوالآلية الحركية الديناميكية التي يقوم بها

الكائن. ومن الأمثلة على العمليات الإدراكية: حل المشاكل المعقدة والمنطق التأملي، والذاكرة، والانتباه أوالحذر، واللغة. وإذا ما دققنا النظر في فهم (الميكانيكية الكامنة:underlying mechanisms) التى يقوم عليها مفهوم هذه الظواهر، سيتضح لنا أن الادراك لا يمكن تمييزه من أنواع أخرى (غير إدراكية: noncognitive) من (العمليات الحسية - الحركية: sensory - motor processes). وكما سنناقش فيما بعد، يمكننا القول بأنه حتى النشاط البسيط مثل المشي أو حمل كوب، مرتبط بخصائص إدراكية. ومن الواضح أيضا بأن الفهم أو الإستيعاب، مرتبط مباشرة بعمليات الاستشعار: sensor processes)، وهذا في حد ذاته يعتبر فرعاً هاماً في (علم النفس الإدراكي: cognitive psychology). وقد صف ليشمان وآخرون، Lachman et al.) في كتابهم (1979م المعروف (علم النفس الادراكي ومعالجة المعلومات: Cognitive Psychology and Information Processing)، هذا المجال باستخدام تعبير مجازي مستنبط من علم الحاسوب وهذا نصه: "[إن علم النفس الادراكي هو عن] كيفية إستقبال وفهم الناس للمعلومات، وكيفية تسجيلها وتذكرها، وكيف

يتخذون القرارات المتعلقة بها، وكيف يغيرون ترميز حالاتهم المعرفية التى تتم معالجتها داخليا، وكيف يترجمون هذه الحالات الى مخرجات ذات معنى" (ص:99). وأحيانا يستخدم مصطلح "الإدراك" بشكل عام أكثر من مصطلح "التفكير" ذلك لأنه ليس بالضرورة أن يكون معنيا بمفهوم الوعي. ولكن من اللازم أن نضع في اعتبارنا أنه بالرغم من وجود دلالات مجردة للتفكير مقارنة مع مفهوم الإدراك إلا أن التفكير مرتبط بالتجسيد وهذا ما سيتضح لنا لاحقا: وعلى مايبدو أن التفكير مرتبط بصورة مباشرة بالعمليات الحسية - الحركية وآداء العمليات الجسدية والوظائف الفسيولوجية الأخرى، مثل الإدراك تماما.

الذكاء وهو المصطلح الأخير الذي علينا أن نوضح صفاته، وهو يشبه كثيراً مصطلح التفكير والإدراك، ولكنه يستخدم عادة بطريقة أكثر شمولية منهما. حيث لا يوجد تعريف جيد للذكاء، ولكننا لا نشعر أن هذا شىء سيِّء. ومن خلال هذا الكتاب سنهتم بتوضيح ما نحن بصدده أثناء حديثنا عن الذكاء، وفي ذات الوقت سنحاول عدم الخوض في متاهات المناظرات وجدل تعريف مصطلح الذكاء. وسنرى أن بعض المصطلحات المعرًفة في الأدبيات - مثل: التعلم، التذكر، الإستيعاب أوالفهم – لا

يمكن الفصل بينها بوضوح فقط من منظورالميكانيكية الكامنة. فعلى سبيل المثال: التعلم والذاكرة يشتركان دائما في ما نستوعبه، فمثلا مشهد – صديق يشرب في مكان عام، – محدود بذاكرتنا، وبالطبع فإن ذاكرتنا تتأثر بما يمكن إستيعابه. وكما سنرى لاحقا، أن تعريف هذه المصطلحات عادة ما يتم من قِبَل إستخدام مراقب خارجي لوصف سلوكيات معينة، لذا فهي تكون عشوائية تعسفية إلى حد كبير إذ يعتمد التعريف على المُراقِب أكثر منه على ملاحظة الظواهر السلوكية ذاتها.

ولنعد إلى الذكاء. يبدأ مدخل تعريف "الذكاء" في لعلم النفس، بالقول أن (قاموس بنجوين: Penguin) "القليل من المفاهيم في علم النفس حصلت على قدر من الاهتمام، والقليل منها إستحال توضيحها بشكل عميق" (ريبر، Reber، 1995م). وإذا كان هذا تعليق ريبر عن تعريف المصطلح فنحن نوافقه تماما، ولكننا نختلف معه في أن فكرة الذكاء إستحال إيضاحها. فنحن ندَّعي بأن هذا الكتاب يوضح العديد من جوانب وصفات الذكاء. ولكن قبل أن نخوض في توضيح لغز الذكاء، يجب أن نوضح عددا من المصطلحات الأخرى ذات العلاقة.

العميل (agent): عند استخدامنا لمصطلح (العميل)، فإننا نشير بذلك إلى أن المناقشة والحجة الصحيحة قد تُعْقَد

سواء كنا نتحدث عن إنسان، أوحيوان، أو روبوت. وإننا لا نستخدم مصطلح "العميل" كاستخدامه في الحياة اليومية، مثل عميل التأمين الذي يقدم لنا خدمات معينة، أو عميل سري يكشف عن معلومات للحكومة، أو عميل بمعنى معامل كيميائي يتفاعل مع عناصر ومواد أخرى. وحيث أن ورود مصطلح "العميل" في هذا الكتاب: يقصد به " أي شيء يمكن النظر إليه على أنه لديه القدرة لفهم بيئته من خلال قنوات إستشعارية ويتحرك في البيئة من خلال استجابته للمؤثرات" كما ورد في تعريف رسل ونورفيج (Russell and Norvig) في كتابهم الكلاسيكي عن الذكاء الإصطناعي عام 1995م، ص: 33. وبمعنى آخر، فإن العميل يختلف في هيئته عن أجسام الأشياء الأخرى مثل الصخرة أو الكوب، والتي تخضع لقوى مادية فيزيائية فقط: وإنها لا تستطيع الإستجابة لردة الفعل من خلال ذاتها. بالإضافة الى ذلك، فنحن مهتمون بشكل خاص، بالعملاء المجسدين، وهم العملاء الذين لهم جسم طبيعي فيزيائي يستطيعون بواسطته التأثير على البيئة من حولهم والتأثُّر بها. أما الكائنات" [13] " العملاء (برامج]: Software agents) وهو مصطلح يستخدم لتصميم برامج حاسوبية معينة تتمتع بخاصية ذكية، مثل برامج عملاء

"كائنات" الفضاء الإلكتروني الإفتراضي والتى تبحث عن معلومات معينة، فهي غير مجسدة ولن نتطرق إليها البتة في كتابنا هذا.

وأخيرا سنستخدم مصطلح الروبوت بمعناه الشامل نسبيا. ولقد إشتق أصل الكلمة (روبوتات من اللغة التشيكية: Czech robota) وتعني أي شيء مثل "العمل": "work" أو عُمَّال أو "العمل الإجباري السخرة forced labor: " – وهذا يعني ضمنيا أن الهدف من الروبوتات أساسا كان أداء أعمال لخدمة البشر. وعليه فإن روبوتات المصانع هي "الأنواع" الأكثر توافقا مع هذه الفكرة. ولكنها في هذا الكتاب لن تستحوذ على اهتمامنا الرئيسي ولن نناقش سلوكها لأنها أساساً مبرمجة، حيث أن ذلك لن يُعرِّفنا الكثير عن طبيعة الذكاء. إن هذه الروبوتات المبرمجة سوف تقوم بتنفيذ ما نريد عمله وهي مبرمجة لآدائه بالضبط – وهي بذلك لن تُصدر فجأة بعض الأفكار الشيقة أو السلوك غير المتوقع من خلال ذاتها. ويشير مصطلح الروبوت، كما نستعمله هنا، الى الآلات التي تحمل، على الأقل، ولها بعض صفات وخصائص الكائن التى أشرنا اليها في الفقرة السابقة، بصرف النظر عما إذا كانت تؤدي عملا نافعا لخدمة البشر أم لا. وهذا يشمل الروبوتات شبه البشرية،

والروبوتات التى على شكل حيوانات أليفة، روبوتات التسلية، روبوتات الخدمة، روبوتات الإنقاذ، وغيره. وما يجدر الإشارة إليه هو أن إطلاق تسمية روبوت على آلة بعينها أو وعدم إطلاقه يعتبر أمرا عشوائياً إلى حد كبير، ولا يمكن تعريفه بدقة في الوقت الحالي.

وبعد كل هذه النقاشات والإيضاحات، دعونا نتوقف قليلا ونستكشف سويا خفايا سحر الذكاء وأغوار أسراره ومضامينه حتى يصبح المصطلح مألوفاً لدينا بشكل حدسي.

لغز الذكاء 1.2

من الواضح أن الذكاء موضوع هام. وقد كُتِبَت حوله مئات المؤلفات، وإننا بكتابنا هذا سنضيف إليها كتابا آخر. ولكن القارىء قد يتسائل هل هو كتاب آخرفقط؟ فنجيبه بأمانة، في الحقيقة نعم ولا. نعم هذا كتاب آخر عن الذكاء، ولكننا نشعر أنه مختلف جدا عما سبقه من الكتب. كما أنه لا يدهشنا وجود الكم الهائل والضخم من الكتابات في هذا الموضوع. فعبر التاريخ الانساني ظل الفلاسفة، وعلماء النفس، والفنانين، والمعلمين، وبالاضافة إليهم، في الوقت الحاضر، علماء خلايا أعصاب الدماغ، وعلماء الذكاء الاصطناعي، يبحثون في موضوع الذكاء الذي أثار تساؤلهم وجعلهم يقضون شطراَ

كبيرا من حياتهم في دراسته مأخوذين بسحر أغواره. ولقد ألف الكثير منهم كتبا حوله. ومع ذلك، تبقى هناك أسباب حقيقية لكتابة كتاب آخر عن هذا الموضوع. ذلك لأننا نعتقد أن هذا الكتاب يعالج نقاطاَ جديدة لم تُناقش في الماضي لأنها لم تُعتبر ذات صلة بأي فرع متعلق بالذكاء. وجميع هذه النقاط ترتبط، بشكل أو بآخر، بمفهوم التجسيد، أو بالفكرة التي قد تبدو بسيطة في مجملها وهي أن الذكاء بحاجة لأن يكون بداخل جسد. وكما سنرى في هذا الجزء من الكتاب، وكما نأمل أن نوضح عبر الكتاب، فقد أدى هذا المنظور الحديث لمفهوم التجسيد، إلى ظهور رؤى مدهشة وأبحاث لمواضيع حديثة في دراسة الذكاء.

الذكاء هو موضوع في غاية الحساسية لأننا نعتقد كبشر أن الذكاء هو الذي يميزنا عن الحيوانات: ونعتقد في أنفسنا أننا أذكى بكثير منها – وهناك أساليب عديدة تؤكد لنا ذلك. وفي مجتمعاتنا، الشرقية أو الغربية، نولي للذكاء أهمية قصوى. حيث تعد مدارسنا وجامعاتنا أهم مراجعنا الثقافية: والكثير منها فعلا تبدو كمعابد شرف. والجامعات هي أنصاب رمزية عالية. وهدف هذه المؤسسات، بطريقة أو بأخرى، هو المحافظة على الذكاء وزيادة مستواه في مجتمعاتنا. "أنت ذكي جدا" هو

الاطراء الأعظم الذي يمكن أن يقدمه المرء أو يحصل عليه. ونحن بشكل دائم نُلقَّن بأن الذكاء جيد وإيجابي ومرغوب فيه. فالآباء دائما يعتقدون بأن أبنائهم أذكياء. لذلك يمكنك أن تقول أي شيء عن أطفال شخص ما – تستطيع أن تدعوهم كسالى، صفيقين، عدائيين، متوترين، مشتتي الانتباه، خجولين – ولكن إياك ثم إياك أن تصرح بأنهم غير أذكياء "أغبياء"! كما أننا لا نزال نعطي قيمة كبرى للذكاء العقلي على الرغم من تزايد الاهتمام بالذكاء العاطفي، وهو الذكاء الذي يناقش أن المنطق العقلي محدود وأن علينا أن نأخذ المشاعر في الاعتبار عند قياسنا لمستوى الذكاء. وبمعنى آخر، ومن خلال هذا المنظور فإننا نعتبر أن البديهة والقدرة على الحكم عاطفيا على وضع ما لايقل أهمية عن نوع " الذكاء الجامد:intelligence cold" المطلوب لاجتياز اختبارات المدارس الثانوية أو للحصول على درجات عالية في اختبارات الذكاء. وقد وثق عالم خلايا الأعصاب الدماغية المعروف أنتونيو ديماسيو (Antonio Damasio) هذا التوجه في كتابه الشهير (غلطة ديكارت: e.g., Descartes' Error)، كما وثقه أيضا عالم النفس الأمريكي دانييل جولمان (1997م، Daniel Goleman) في اختباراته التي طورها

لقياس الذكاء العاطفي. ولكن، وبالرغم من هذه التطورات، فلا يزال الذكاء العقلي يُعَد أحد أهم الخصائص الشخصية المثيرة للغيرة بين البشر.

ولكن هناك سبب آخر يبين لماذا يُعَد الذكاء موضوعا حساسا. وقد احتدم الجدل لعقود طويلة حول ما إذا كان الذكاء موروثا أم أنه أمر يمكن اكتسابه خلال حياة الإنسان من البيئة: وهذا هو الجدل الشهير – أو سيء السمعة– المعروف الذي يعنى بمناظرة بين العوامل (الجينية - البيئية :nature - nurture)، (راجع مجموعة المقالات حول الموضوع، أنظر مثلا: ريدلي 2003م، Ridley)، (2000م، سيسي وويليامز Ceci and Williams). ونحن نفترض بأن بعض الأسباب التي جعلت الجدل ساخنا حول هذا الموضوع هو صلته بالذكاء، بينما لم يحتدم الجدل حول السمات الشخصية الأخرى بهذا القدر. فمثلا، كأن يكون للمرء سمات شخصية نزيهة أو أن تكون لديه مبادىء أخلاقية عليا، وكيفية اكتساب هذه الصفات لا تناقش عادة بنفس القدرمن الحماس والحِدَّة، على الرغم من أنها تُعَد صفات نوعية ومرغوب فيها. ولكن الحصول على معدل ذكاء عال، أو بصفة أعم الحصول على معدلات عالية في أي من اختبارات الذكاء القياسية الموجودة الآن في

الأسواق، لا يزال يعتبر أحد أهم المؤشرات والسمات الشخصية المرغوبة (على الرغم من توجه جميع الاهتمامات الحالية نحو الذكاء العاطفي). وحفظاً للأوضاع السياسية بين البشر وحرصا على وضع العلاقات في قالبها الصحيح فإننا قد نتراجع في أن نعطي قيمة كبرى للذكاء أو أن نعلن نتائج اختبارات الذكاء على الملأ في بعض الأحيان، ولكننا مع ذلك نتوقع أن معظم الناس يقدرون ذلك فيما بين أنفسهم. وقد أثار عالما النفس، من جامعة هارفارد ريتشارد هيرنستين (Richard Herrnstein) و تشارلز موري (Charles Murray) نقاشا عاطفيا ساخنا في أمريكا والعالم بأسره سنة 1994م عندما نشرا كتابهما الشهير: (منحنى الجرس: الذكاء والتركيبة الطبقية في الحياة الأمريكية: The Bell Curve: Intelligence and Class Structure in American Life)، فقد جاء ضمن نتائج بحثهم أن الآسيويين يحصلون على أعلى المعدلات في اختبارات قياس الذكاء (آي كيو :IQ) يليهم البيض، بينما يحصل السود على أقل المعدلات!. ويبدو سهلا من خلال ذلك استنتاج أن المستوى الاجتماعي يلعب دورا هاما في التأثير على نتيجة الذكاء، سواء كان هذا الذكاء موروثا أم مكتسبا. والسؤال العلمي

المهم في هذا النقاش الأبدي لايكمن في كون الذكاء موروثا أم مكتسبا خلال حياة الفرد، بقدر الكيفية التى يتفاعل فيها كل من التطوير و الأطوار بما يؤدى إلى زيادة مستوى الذكاء لدى الكائن. وهذا الموضوع الذي سوف نستعرضه في الفصلين 5 و 6، عندما نناقش .العلاقة بين التطوير والمفهوم التطوري والذكاء

الذكاء غامض جدا، وكلنا يتساءل عن ماهيته: وكيف أمكن أن يُنتِج المفهوم التطوري شيئا بهذه الدرجة من التعقيد؟ وكيف يتطور الذكاء أثناء مراحل نمو الطفل ليصبح بالغا؟ وكيف نستطيع المشي أو الكلام أو حل مشكلة ما؟ وكيف يمكننا، بدون مجهود، التعرف على وجه ما في الزحام أو عزف قطعة موسيقية؟ فقط خذ مثلاً واحداً لعملية جوهرية متعلقة بالذكاء، كالذاكرة مثلاً، فهي أيضاً ظاهرة غامضة جداً ولا أحد يعرف حقيقة الكيفية التي تعمل بها. ويختلف أداء الذاكرة بدرجة كبيرة تبعا لمزاج الشخص أو وضعه الجسدي، فأحيانا يصبح الناس شديدي النسيان وأحيانا تدهشنا دقة تذكرهم. والسؤال الذى لابد أن نطرحه هو كيف نستعيد شيئا ما من الذاكرة؟ فمثلا فإن للأشياء المخزنة في الحاسب عناوين تستخدم لهذا الغرض. ولكن أين العناوين في الدماغ البشري؟ فقد نتذكر ذكريات قديمة جداً بوضوح شديد في

حين تصبح ذكريات أخرى مظلمة وغير واضحة، أو على الأقل مؤقتاً غير واضحة. ثم، فجأة – وجميعنا مررنا بهذه التجربة – نتذكر شيئا نسيناه منذ زمن طويل. فجميعنا مررنا أيضا بما يسمى بظاهرة (على طرف اللسان: tip - of - the - tongue)، وهي غالبا ما تسبب الإحباط: اذ نعرف أننا نعلم شيئا ما، ولكننا لا نستطيع التلفظ به. فمثلاً، قبل برهة، كنت أفكر في اسم كاتب الكتاب: Decartes Error) (غلطة ديكارت)، ولكني لم استطع استرجاعه من ذاكرتي العقلية. ولكن بعد خمس دقائق، تذكرته دون أن ابذل أي جهد، رغم أنني لم أعد أُفكِّر به البتَّة. كيف نعرف أننا نعرف شيئا ما إذا لم نكن قادرين على تذكره وإسترجاعه؟ لماذا يسهل علينا التعرف على وجه أحد المعارف العاديين عندما يظهر، ولكن يصعب وصف ملامحه أثناء غيابه؟ وكيف نستطيع أن نؤمن بشدة بصحة حقائق معينة مع وضوح عدم صحتها؟ وأن هذه الظاهرة موجودة ويمكن بسهولة إثباتها ولكن يصعب جداً شرحها. كل ذلك يؤكد لنا غموض عمل الذاكرة.

لكن الذاكرة – وبالتبعية الذكاء – ليس فقط غامضة ولكنها أيضا ذات قيمة ثمينة جدا وضرورية. وإن عدم وجود ذاكرة يتضمن عدم القدرة على التعلم، وهذا بدوره

لها تاريخ (Hollywood) معيق جداً. فمثلاً هوليوود طويل مع موضوع فقدان الذاكرة في الأفلام المنتجة، لأن فقدان الذاكرة يتحدى المصاب بطرق عديدة مثيرة قصة ،(Momento: ومدهشة. وفي فيلم (مومينتو مثيرة حيث يفقد فيها البطل القدرة على تكوين ذكريات جديدة بسبب ضربة تلقاها على رأسه. ويحدث التشويق في الفيلم من خلال محاولات البطل، عبر مغامرات عديدة، لإعادة بناء ذاكرته وما حصل له. وفي الفيلم الفكاهي يتقابل يوما (First Dates (أول خمسين موعد: 50 ما، كل من البطل و لوسي، وكلاهما فاقدً للذاكرة، ولكن لوسي تفقد القدرة أيضا على تكوين أي ذكريات جديدة على إثر الحادث الذى مر بها. والجانب الفكاهي من الفيلم يحدث مع كل مرة يتحدث فيها البطل مع لوسي، حيث أنها تنسى تماما لقاءها معه في الموقف السابق! فإن للذاكرة أهمية قصوى، لاتقتصر فقط على الذكاء ولكن تعنى بذاتنا و ببقائنا أحياء، ولازالت هناك الكثير من الأسئلة التى لم يتم الإجابة عليها والمتعلقة بالذاكرة. فالذاكرة ظاهرة مهمة جدا مثل الذكاء ولكنها لا زالت غير مفهومة لدينا. ولهذا السبب فقد خصصنا فصلا كاملا (10) عن الذاكرة. بالإضافة إلى هذا، فإننا نعتقد أن منظور التجسيد الذي نطوره في هذا الكتاب قد يوضح، على الأقل، بعض

القضايا التى تدور حول الذاكرة، وبشكل أكثر تعميما، حول الذكاء.

تعريف الذكاء 1.3

إن موضوع الذكاء مهم، وحساس وغامض، ولكن السؤال الذي لابد أن نطرحه، ما هو الذكاء في الحقيقة؟ وللإجابة لابد أن نبدأ من الفرضية بأن كل منا لديه حدس بديهي جيد عن ماهية وكون الذكاء. ونستطيع القول بأنه مرتبط بالوعي الإرادي، التفكير والذاكرة (كما ذكرنا سابقا)، بالإضافة إلى حل المشكلات، والبديهة، والإبداع،و اللغة، والتعلم، وأيضا الإستيعاب، والمهارات الحسية - الحركية، والمقدرة على التنبؤ بتغيرات البيئة (بما في ذلك أفعال الآخرين، المقدرة على التعامل في عالم معقد (والذى قد ينتج من مجموعة قدرات أخرى)، والأداء في المدرسة وفي اختبارات الذكاء وما شابه ذلك. وبصفة عامة، فإن التعريف الجيد لابد وأن يشتمل، على الأقل، على بعض هذه البديهيات. ولكن لطول القائمة ولغموض مفاهيمها، يبدوا أنه من غير المحتمل إمكانية الإتفاق على تعريف واحد أو محدد للذكاء.

نقدم هنا أمثلة على بعض تعاريف الذكاء من دراسة في: Journal of (مجلة علم النفس التعليمي Educational Psychology) منذ عام 1921م،

وفيها طُلِب من بعض الخبراء أن يقدموا اقتراحاتهم: فقد ذكر ل. تيرمان (L. Terman): أن الذكاء هو "القدرة على التفكير المجرد"، وجاء في تعريف و.ف. ديربورن W. F. Dearborn)): أنه "القدرة على التعلم أو الاستفادة من الخبرة"، أما س.س.كولفين S. S. Colvin)) فقد وصفه بأنه "التعلم أو القدرة على تعلم التأقلم مع البيئة" وهذا التعريف عام جدا لدرجة أنه لا يمكن أن يكون خطئاً ويعتمد في مضمونه على ما يمكن أن نقصده في العبارة " تعلم التأقلم مع البيئة"، كما عرفه ر. بينتنر R. Pintner)) بأنه "القدرة على التأقلم بصورة كافية في أوضاع جديدة نسبيا في الحياة" وهذا التعريف يشبه الوصف السابق، والسؤال الذى يطرح نفسه هنا هو ماذا يعني هذا الخبير عند إستخدامه التركيب اللغوي "جديدة نسبيا" في التعريف، وكذلك فقد عرف الذكاء ف.أ.س. هينمن (V. A. C. Henmon) على أنه "القدرة على المعرفة، والمعرفة المكتسبة"، وهلم جرا. ويمكن أن نستمر لفترة طويلة ونضم آراء عددً أكبر من الخبراء ولكن من غير الواضح كيف سنستفيد من هذه التعاريف بإضافة المزيد منها إلى القائمة.

إن أحد أسباب صعوبة تقديم تعريف جيد للذكاء هو سعة وشمولية المفهوم كما يتضح من البديهيات التي يحتويها. وسبب آخر هو أن تعريفاتنا ستكون مبنية على خلفيتنا العملية وتجاربنا الشخصية، وتوقعاتنا الذاتية، واهتماماتنا وتحيزاتنا الفردية. ويشير جريجوري (Gregory) في كتابه (دليل اوكسفورد إلى العقل: The Oxford Companion to the Mind) في (ص: 378) الى أن الباحثين المتحيزين للتفكير البيولوجي الحيوي يركزون على المفاهيم مثل التكيف والقدرة على التأقلم مع البيئة أمثال (كولفين وبينتر) في حين أن الباحثين المتحيزين للتفكير الفلسفي يركزون، على الأغلب، على العناصر المجردة (كما في تعريف تيرمان). وهكذا فإن مثل هذا المفهوم ستكون له دائما تعاريف عديدة، ولا نأمل كثيرا في أن يكون هناك اتفاق عام على تعريف واحد بعينه.

كذلك، إن محاولة إيجاد تعريف ما يقترح إما وجود أو عدم وجود خاصية معينة ولكنذلكقد لايكون مناسبا – في حال تعريفنا للذكاء – وعند طرح سؤال مثل: هل النمل ذكي؟ ربما أنه ذكي بدرجة معينة، ولكن مستعمرة النمل بأكملها قد تكون ذكية. وهذه الفكرة تقدم ما يسمى بالذكاء التجميعي (collective intelligence):

وفيه يمكن أن تُوصَف محصلة آدآء مجموعة كاملة من الكائنات بالذكاء وليس كائناً وحيداً فقط كما جرت عليه العادة. وسوف نشرح الفكرة بعمق أكثر في الفصل السابع. ومن الواضح أن علماء الأحياء الذين يدرسون سلوك النمل منبهرون من غنى مايشاهدوه في سلوكيات النمل، ولكنِ أن يصفوا أو نصف نحن هذا السلوك بأنه ذكي مسألةٌ أخرى، جديرة بالإعتبار. وإن فَعَلْنَا ذلك فهل يمكن مقارنة ذكاء مستعمرة النمل أو حتى ذكاء نملة مفردة بذكاء الإنسان البشري. وهناك نقطة لصالحنا نحن البشر وهي أن مستعمرات النمل لا تتكلم[14] في حين يستطيع الإنسان ذلك، وعليه إن اعتبرنا اللغة جزءا مهما من الذكاء، فإنه يمكننا أن نستنتج بأن جميع البشر أكثر ذكاء من مستعمرات النمل. وقد يكون النمل أو مستعمراته، حقا غير ذكي، ولكن ماذا يمكن القول عن ذكاء الفئران أو الكلاب؟. إنها بالتأكيد أكثر ذكاء من النمل لأنها تستطيع أداء مهام لا يمكن للنمل القيام بها، مثل تعلم البحث والتجول في متاهة أو التقاط القرص الطائر أثناء الجري. ولكن من الواضح أن الناس أكثر ذكاء من الفئران والكلاب حيث أن واقع الأمر أن الكلاب والفئران لا تتكلم أو تكتب أو تركب سيارات. وقد يكون الفئران والكلاب أكثر ذكاء منا في بعض النواحي، فمثلا قد تفوق

قدرة الكلاب قدرة البشر كثيرا: عندما يتعلق الأمر بالبحث عن الناجين في مواقع الكوارث أو البحث عن المخدرات في أمتعة المطارات. ولهذا السبب يتم تشغيلهم للقيام بهذه المهام التى يصعب على الإنسان إنجازها. من الواضح أيضا أنه ليس جميع البشر متساوون في الذكاء وأن بعضهم أذكى من البعض الآخر، ولكن عندما نفكر في هذا فإننا نتساءل ماذا نعني حقا بكونهم أذكى؟ هل لأنهم يؤدون بعض الأعمال أفضل من الآخرين، أم لأنهم يحصلون على نتيجة أعلى في اختبار الذكاء؟ أم لأنهم أكثر نجاحاً في حياتهم المهنية من الآخرين؟ أم لأنهم ماهرون في الرياضيات؟ ولكن ماذا عن الآخرين الذين يمكنهم الغناء أو الذين يستطيعون البقاء على قيد الحياة في البراري؟ وهكذا فقد تمكنا من إيضاح أن للموضوع جوانب متعددة ومتداخلة، وأن محاولة تقديم تعريف محدد يبدوا أنها ستبوء بالفشل منذ البداية.

لذلك بدلا من محاولة الخروج بتعريف للذكاء نقترح البحث عن نماذج سلوكية تثير الاهتمام (مثل كيف تجري الكلاب لتلتقط القرص الطائر وكيف تتعلم الفئران توجيه نفسها بسرعة داخل متاهة، وكيف يجد النمل طريق العودة لمسكنه عندالرجوع من رحلته بحثا عن الطعام، وكيف يمشي البشر ويتعرفون على الوجوه بين الحشود)

وبعدها تصبح محاولة فهم الكيفية التي يظهر بها سلوك معين أمراً جلياً. ولكن وصف هذا السلوك وتصنيفه بأنه ذكي أم لا يعتبر تذوقاً شخصياً وغير ذا أهمية في هذا الإطار.

وعلى الرغم من كل الصعوبات التي تأتي مع محاولة الخروج بتعريف محدد للذكاء و بغض النظر عن كل التعقيدات الهائلة المتضمنة في مفهوم الذكاء، وعلى مايبدو أن كل ما نراه بديهيا متعلقا بالذكاء يكون عادة راسخاً مع خاصيَّتين محددتين هما: (الإستجابة - و - التنوع: compliance and diversity). وباختصار شديد فإن معنى " الإستجابة - و - التنوع "، يدل على أن الكائنات الذكية تستجيب وتمتثل وتتقيد دائما بالقوانين الاجتماعية والطبيعية المعطاه والمتوافقه مع بيئتها، وهم يستغلون هذه القوانين لإنتاج سلوك جديد مختلف ومتنوع ومغاير للسلوك الأصلي. وسوف نُناقش هذه الأفكار بالتفصيل في الفصلين الثالث و الرابع. أما هنا فسوف نكتفي فقط بشرح مختصر لتوضيح بعض البديهيات، وذكر مثالا لتوضيح فكرة الإستجابة - و - التنوع. إن جميع البشر و الحيوانات و الروبوتات عليهم أن يستجيبوا ببساطة لحقائق لا مفر منها ألا وهي الجاذبية و الإحتكاك وأن التحريك يتطلب طاقة: وببساطة

ليس هناك أي مخرج من هذا. ولكن التكيف مع هذه القيود الموجودة في البيئة واستغلالها بصورة معينة وصحيحة يفتح إمكانيات ومجالات مختلفة أمامنا، مثل المشي و الجري و الشرب من كوب وكذلك وضع الأطباق على المائدة و لعب كرة القدم و ركوب الدراجة. فالإختلاف يُمَكِّن الكائن من أن يؤدي أنواعا مختلفة من السلوك وهذه بدورها تولِّد لديه القدرة لأن يقوم بردة فعل مناسبة للأوضاع المحددة. فالكائن الذي يستطيع أن يمشي فقط، أو يلعب الشطرنج فقط، أو يجري فقط، يُعتَبَر أقل ذكاء من الكائن الذي يستطيع أن يبني سيارات اللعب أو من الكائن (Lego :من مجموعة أحجار لعبة (ليجو الذي يسكب الشراب في الكوب أو من الذي يلقي محاضرة أمام جمهور واع له القدرة على النقد. وعليه يمكننا أن نستنتج أن التعلُّم الذي ذُكر في تعريفات عديدة للذكاء، يفيد كوسيلة قوية في زيادة التنوع السلوكي مع مرور الزمان. وسوف نناقش هذا الوصف العام للذكاء بالتفصيل في الفصل الثالث.

من الممكن دراسة الذكاء بطرق متعددة، على سبيل المثال خلال أداء التجارب مع البشر كما هو الحال المتبع في علم النفس، أوعن طريق دراسة عمليات الدماغ كما في علم خلايا أعصاب الدماغ، أو عن طريق التفكير فيه

بطرق مختلفة كما في الفلسفة. أما في هذا الكتاب فسوف نستخدم منهج علم الذكاء الاصطناعي، والذي نعتبره مناسبا لهذا الغرض بصورة خاصة. وهذا ما سنتعرف عليه في الفقرة التالية باختصار.

1.4 الذكاء الاصطناعي

نعني بالذكاء الاصطناعي المجال البحثي المكون من العلوم المتداخلة[15] الذي يشمل في جوهره، ثلاثة أهداف: 1- فهم الأنظمة البيولوجية الحيوية (فعلى سبيل المثال المحفزات الآلية التي تُظْهِر سلوك الذكاء عند البشر أو الحيوانات)، 2- تجريد المبادئ العامة للسلوك الذكي. و3- تطبيق هذه المبادئ لتصميم أشكال فنية روبوتية مفيدة. ومن المهم أن نلاحظ أن "الآلية mechanism" غير محصورة فقط على آلية الخلايا العصبية أو عمليات الدماغ، ولكنها تشمل أيضا جسم الكائن وتفاعلاته مع العالم الحقيقي الواقعي: فمثلا الحقيقة بأن العضلات مرنة وبأن الوزن يتزايد على ساق واحدة لو تم رفع الساق الأخرى، هما جزء من الآليات الحركية الضرورية للسير ويشابهان في أهميتهما ردود الأفعال ومراكز الدماغ التي تؤثر على هذه السلوكيات.

وفي الفصل التالي سوف نفصل تاريخ هذا المجال، ولكننا هنا سنقدم استعراضا مختصراً جداً. ويعود تاريخ

الذكاء الاصطناعي إلى عام 1956م عندما دعى جون مكارثي (John McCarthy) من (معهد أم آى تي :MIT) العديد من الباحثين البارزين في ذلك الوقت إلى ورشة عمل قدم خلالها مصطلح الذكاء الاصطناعي. وقد كان من بين الحضور مارفن منسكي (Marvin Minsky) وهربرت سيمون (Simon Herbert) وألن نويل (Allan Newell) مؤسسو علم الذكاء الاصطناعي. وقد كان جميع هؤلاء مقتنعين تماما أنه باستخدام (مفهوم المعالجة الرقمية بالحاسوب: notion of computation) أو معالجة الرموز المجردة سيتمكنون من إنتاج قدرات عالية للآلة تحاكي قدرات الإنسان مثل لعب الشطرنج و حل المشكلات المجردة وإثبات النظريات الرياضية. ولكن ما نتج عن هذه الورشة عُرف حتى منتصف الثمانينات بالمبادئ الأساسية الموجهة لهذا العلم وهو ما يعرف الآن باسم (نموذج معالجة الرموز التقليدي: classical symbol - processing paradigm) أو باسم (النموذج الإدراكي التقليدي: classical cognitivistic paradigm. ولعله من الأجدر بنا أن نطلق شعار الإدراك الحاسوبي": cognition as computation " على هذا النموذج التقليدي لوصفه:

وما يهم الذكاء في هذا المنهج هو البرنامج المبني على اللوغاريتم المنطقي، بينما الأجهزة المادية التي تُشغِّل هذا البرنامج فلا علاقة لها البتّة ولاتدخل في الحسبان ضمن هذا النموذج. وعليه فإن الآثار المترتبة على هذا المنهج من التفكير تقتضي بأن الذكاء لا يظهر فقط في الأنظمة الحيوية و يجري بداخل أدمغة بيولوجية حيوية مبتلَّة كما هو داخل أجسادنا وهذا ما هو مألوف لدينا، بل يمكنه أيضا أن يظهر في الأنظمة الإصطناعية ويتم تشغيله على الحاسوب.

لازال النموذج الإدراكي شائعا جدا بين العلماء. حيث اختار بعضهم أن يرى برامج الحاسب عبارة عن نماذج للتفكير الفعلي وهذا التوجه يسمى (بالذكاء الاصطناعي الضعيف: weak AI). بينما إدعى أخرون أنه باستطاعة هذه البرامج أن تفكر فعلياً وهذا التوجه يسمى (بالذكاء الاصطناعي القوي: strong AI). ونموذج الذكاء الاصطناعي الضعيف بشكل عام مقبول ولا يمثل أى مشكلة: حيث أن طبيعة نموذج المحاكاة تختلف بشكل واضح عن الشيء الذي تحاكيه. وهذا مشابه لمحاكاة صورة المطر على جهاز الحاسب، فعندما يتم توليد الصورة أثناء المطر فإنها لاتكون مبتلَّة فعليا بماء المطر، وهكذا فإن النموذج الذي يحاكيه التفكير يختلف عن

عملية التفكير نفسها. أما نماذج الذكاء الاصطناعي القوي فهي غالبا ما تواجه بالاعتراض. وهذا يجب ألا يدهشنا لأن العديد من الناس يصعب عليهم أن يؤيدون بأن الحاسب لا يحاكي فقط عمليات التفكير، ولكنه فعليا يفكر. ولمعرفة المزيد من التفاصيل عن تاريخ الذكاء الاصطناعي واتجاهاته انظر، على سبيل المثال، كتاب ماكوردك (McCorduck) الآلات التي تفكر: Machines Who Think) الصادر عام 1979م، وهو حافل بالقصص المسلية النادرة ؛ أو كتاب فايفر وشير (Pfeifer and Scheier) الصادر عام 1999م؛ أو اطلع على مربع إطار التوضيح رقم 2.1 والذي نوجز فيه تاريخ الذكاء الاصطناعي. وعلى عكس النموذج الادراكي للذكاء، القائم على أساس لوغاريتمي، فان منهج التجسيد ينظر الى الذكاء على أنه أكثر من مجرد برنامج حاسب: حيث أن للذكاء جسدا ويستطيع من خلال هذا الجسد أن يؤدي مهام معينة في العالم الحقيقي الواقعي. وهذه ليست مجرد نماذج من الذكاء البيولوجي الحيوي، ولكنها نوع من أصناف الذكاء المجسد والمستقل في حد ذاته.

وكما سنشرح في الفصل الثاني، فإن النموذج التقليدي نجح إلى حد ما و لكنه فشل في توضيح طبيعة الذكاء،

وهذا هو الهدف الرئيسي من وراء هذا الكتاب. ونحن في هذه الجزئية لا نهدف إلى تقديم مسح شامل عن مجال الذكاء الإصطناعي – حيث يمكن للقارىء المهتم بذلك أن يرجع إلى كتاب رسل و نورفج الصادر عام 1995م – ولكننا نسعى لدراسة التطورات الحديثة و التي لم تغير فقط المجال بشكل أساسي ولكنها أيضا قادت إلى العديد من الرؤى المدهشة. وإن أبرزهذه الرؤى ما هو متعلق بأهمية التجسيد.

1.5 التجسيد ومضامينه

إن ما نعنيه هنا تحديدا بالتجسيد هو أن الذكاء يتطلب جسدا. وبدقَّة أكثر فإننا نُنسِب صفة الذكاء فقط للكائنات المجسدة؛ أى تلك التي لها أنظمة فيزيائية مجسدة والتي يمكن ملاحظة سلوكها عند تفاعلها مع البيئة. وبصفة عامة فإن برمجيات الكائنات الرقمية وبرامج الحاسب غير مجسدة وهي إفتراضية، والعديد من النتائج التي تم التوصل اليها في هذا الكتاب لا تنطبق عليهم. ورغم بساطة العبارة "الذكاء يتطلب جسداً" إلا أن مضامينها مدهشة كما سنرى لاحقا. وليس جميع نتائج التجسيد واضحة. فعلى سبيل المثال، يخضع النظام المجسد لقوانين الطبيعة ولابد وأن يتعامل مع قوانين الجاذبية والاحتكاك وإمداد للطاقة اللازمة للبقاء. و رغم أن هذا

مهم حيث أنه يمثل تحديات جادة لنظرتنا عن الذكاء فإن الأهمية الحقيقية للتجسيد تأتي من خلال التفاعل الذي يحدث بين العمليات الفيزيائية الطبيعية وما يمكن أن نُطلِق عليه المعالجة المعلوماتية. بالنسبة للكائنات البيولوجية الحيوية فإن هذا يرتبط بالعلاقة بين الأعمال البدنية والمعالجة بين خلايا الأعصاب الدماغية – أو نضعها بشكل عفوي وتلقائي فنقول إنها تمثل العلاقة بين الجسد - و- العقل. ويعادل ذلك في الروبوتات العلاقة بين حركة الروبوت وبرنامج التحكم به. ورغم أننا ندرك أهمية الجسم للذكاء، الا أن أهميته ليست بالضرورة واضحة بنسبة مائة بالمائة. وبما أن الكتاب يعالج كامل هذه القضايا بالتحديد فلن نتطرق إلى أي تفاصيل عنها هنا، وبدلا من ذلك، فإننا سنقوم بالإيضاح المطلوب في الفصول اللاحقة. وحيث أننا نادرا ما ندَّعي أمرا دون دعمه بالأدلة، فإننا سنتوقف هنا لوهلة ونلقي نظرة عامة لتقديم نبذة عما سيتم عرضه لاحقا، كما سنعرض القليل من الأمثلة التوضيحية اللازمة.

أولاً، التجسيد وهو مساعد للإدراك أو التفكير: و بمعنى أخر هو متطلب سابق لأي نوع من أنواع الذكاء. إذا فالجسد ليس شيئا اضافيا مهمته ببساطة حمل العقل والتجول به، ولكن له دور هام و ضروري في عملية

الإدراك. وعلى ما يبدو لنا فإن الجسد ضروري حتى في إنجاز الوظائف المجردة مثل (التفكير المنطقي الرياضي: mathematical thinking) – وهو عادة ما نظن أنه يتم من خلال عمليات ذهنية مجردة لاعلاقة للجسد بها –(Lakoff and وقد ناقش ذلك لاكوف و نيونيز Núñez).

ثانياً،العديد من المهام تصبح أسهل إذا أخذنا التجسيد في الحسبان، فعلى سبيل المثال، الإمساك بالأشياء يتطلب تحكما أقل بكثير لو كانت المواد الصلبة المصنع منها أداة الإمساك ذات مرونة مناسبة في تشكيل الحركة والقوة. تأمل فقط هيئة ونوعية المادة التى خلقت منها نعومة أطراف أصابعك، وكيف أنها تساهم في التقاط الأجسام الجامدة بصورة أسهل. تخيل لو أنك اضطررت لأن تؤدي مهمة ما كأن تمسك بكوب وأنت تلبس بحلقات معدنية (مثل الكشتبانات) في جميع أصابعك! لابد وأنك ستكون أكثر حرصاً في الكيفية التى تمسك بها الكوب وفي إختيار المكان الذي تضع أصابعك فيه على الكوب. فمن الواضح إذا أن السبب الذي يسهل مسؤولية هذه المهمة يقع على الجزء المسؤول من التحكم في خلايا أعصاب الدماغ وهو مرتبط بخواص المواد المشكِّلة لمادة اليد وهيئتها.

ثالثاً، لو وضعت إستشعارات في الأماكن الصحيحة من جسم الروبوت أو الكائن الحي، فإن هذا التوزيع يُحَسِّن من جودة المعطيات القادمة من القنوات الإستشعارية مما يؤكد أن العمليات الحاسوبية في محاكاتها من خلال هذه القنوات تسبق أى محفزات أخرى وإن كانت من خلال كما هو متوقع. (neural system: النظام العصبي) وعليه فإن التوزيع المناسب لهذه الإستشعارات الحسية "الجيدة" على كامل الجسم يرسل إشارات أقوى الى الدماغ؛ أو بعبارة أخرى حتى يعمل الدماغ فإنه بحاجة إلى إستشعارات موصلة على درجة من الجودة. وعلى سبيل المثال أظهرت التجارب أن الإمساك بالأجسام أمر في غاية السهولة على الإنسان، حيث أظهر تشريح يد الإنسان أن أطراف الأصابع الأمامية تتهيء للإنحناء للإمساك بجسم ما بدلا من أطراف الأصابع الخلفية، وأن عدد الإستشعارات الحسية الموزعة في أطراف الأصابع الأمامية تفوق بكثير العدد الموجود في أطراف الأصابع الخلفية أو باطن اليد.

رابعاً: لو استغلت الخصائص المادية لأربطة أوتار العضلات في جسم كائن ما، فإن قدرة الكائن على التحركات السريعة مثل الجري تتم بسهولة تفوق سرعة تحكم النظام العصبي الذي يؤدي إلى البطء الشديد

لإهتمامه بتفاصيل كل الحركات. فمثلا عندما تطأ قدمك الأرض تتم حركة ثني و مد الكاحل وإرتداد تلقائي بواسطة المادة المطاطية المكونة لأربطة أوتارعضلات القدم وهذا يبين أنه ليس هناك أي إحتياج لتحكم الجهاز العصبي (سوف نوضح هذه النقطة بالتفصيل في الفصل الرابع).

خامساً، خلال تفاعل الكائن الفيزيائي مع بيئته فإن الإشارات المعلوماتية التي يتم استقبالها من خلال قنوات الإستشعار الحسية المختلفة تترابط، قد تبدو هذه الفكرة معقدة – وهي في الحقيقة كذلك – ولكنها تقع في صلب العمل المنجز بذكاء، وسنكتشف ذلك بتفصيل أكثر لاحقا. فعلى سبيل المثال، حيثما تسير فإن كل مافي البيئة يمر أمام عينيك في ذات الوقت الذي تسجل فيه عضلات رجلك معاناة إجهاد الحركة. وعلى سبيل المثال، حينما يتحرك الكائن، فإن الأجسام القريبة منه تبدو أنها تتحرك أسرع من تلك الأجسام البعيدة عنه، وذلك يوضح تكوين معلومات ذات علاقة بالمسافة والأبعاد لدى الكائن. وهذا النوع من "هيكلة وتركيب المعلومات: information structuring" سيتم الكشف عنه في الفصول اللاحقة. إذاً، هناك تفاعل أو توازن غامض بين نشاط الكائن العصبي (المحدد بالدماغ)، وشكل الكائن وبنيته

الخارجية (المتمثل في شكل وهيئة الجسد وخواصه المادية) وأيضا في تفاعله مع البيئة لتأدية مهام رئيسية. كما يجب أن لانغفل عن أن مرونة نظام وأوتار عضلات الأربطة، او شكل نسيج أطراف الأصابع، يقلل من الجهد الملقى على عاتق الدماغ بشكل ما.

بالإضافة إلى وضع أسس نظرية جديدة للذكاء باستخدام هذه الأفكار، سنحاول تفكيك الافتراض العام بأن العقل هو الذي يسيطر على الجسم والتشكيك فيه. وهذا قد لا يعجب البعض لأن هذه الفكرة متأصلة في مجتمعنا و لها تاريخ طويل كما ذكرنا سابقا. فبدلا من الفكرة السابقة بأن العقل هو في قمة البناء الهرمي وهو المسيطر على بقية أجزاء الهرم المتمثلة في – الجسد – فإن النظرية الجديدة تركز على التفاعل بين هذين الجزأين. وسنناقش بأنه على الرغم من الأهمية القصوى للعقل إلا أنه لا يعد المركز الرئيسي للذكاء وأن الذكاء في الحقيقة موزع في الأجزاء المختلفة للكائن. وسوف نتعمق أكثر في الموضوع لنوضح أن مفهوم التحكم بحد ذاته يحتاج إلى مراجعة وإعادة نظر. كما سنوضح بأننا لا نستطيع أن نفهم العمليات التي يؤديها الدماغ فقط من خلال دراسة الدماغ على حدة، ولكن يجب علينا أن نضع التجسيد في الاعتبار؛ ولابد لنا من إزدواج وترابط بين العقل والجسد

والبيئة. وقد يكون من الأسهل علينا التفكير بنظام هرمي يقوم فيه شيء واحد – أي العقل، بالسيطرة بدلا من التفكير بأنظمة ممتدة وموزعة بطريقة تسمح لكل من الأجزاء بالتأثير على بعضها البعض – ولكن هذا لا يمثل الواقع الحقيقي. لذا فأحد أهداف هذا الكتاب أن نستكشف طريقة تمكننا من النظر إلى الأشياء من حولنا – وإلى أنفسنا – بصورة مختلفة.

سوف نناقش – ونرجو أن نقنعكم بوجهة نظرنا – أن فكرة (الذكاء الحاسوبي: intelligence as computation) التي تندرج تحت النموذج الإدراكي هي فكرة مضللة. وأن تصور مستقبل الذكاء الاصطناعي بأن (القوة – (Moore) عن طريق إستنباط قانون مور الحاسوبية: computing power) تتضاعف كل سنة أو سنتين تقريبا– خاطئ كليا من حيث الجوهر. كما طرح عالم الحاسبات راي كرزويل (Ray Kurzweil) ومتعهد مشروع أعمال مستقبلي وصاحب كتاب (عصر الآلات الروحية: The Age of Spiritual Machines)، لقد رأياً هاماً ذا علاقة بهذه القضية. إفترض أن نتيجة الذكاء محصورة على وظيفة القوة الحاسوبية، وبناء على ذلك ألف سيناريو وتوقع فيه أن تتفوق الحاسبات في المستقبل القريب على العقل البشري

لأنها وببساطة ستمتلك قدرات حاسوبية مماثلة للعقل البشري أو تزيد عنه. وما نرجوه عبر هذا الكتاب هو إقناع القارئ بأن النظريات الحاسوبية قد باءت بالفشل منذ البداية. كما سنوضح بأن هناك غموضا وتشويشا في أدبيات هذا الحقل العلمي عن معرفة ما يمكن أن يدور بداخل الكائن وبين ما قد يظهر أو ينعكس في دماغ الشخص الذي يراقب هذا الكائن: وهذه المشكلة تعرف باسم: (مشكلة الإطار المرجعي (frame - of - reference problem والتي ستصادفنا مرات عديدة في الكتاب.

كما أننا سنوضح أنه بالرغم من القصور الذي يطبعها، إلا أن: (الأطوار الإصطناعية artificial evolution)، عبارة عن فئة من الخوارزميات البرمجية صممت لمحاكاة الأطوار البيولوجية الحيوية وسنشرحها في الفصل السادس، تعتبر أداة تصميم قوية جداً وعلى وجه الخصوص في تصميم الكائنات الذكية. كما سنعرض قدرة الحاسب على التصميم الأوتوماتيكي (بصورة ذاتية - بدون تدخل من الإنسان) لنماذج فنية ولكائنات روبوتية معقدة، وأن تصاميم مثل هذه الكائنات يفوق أدائها بشكل متقدم تلك التي صممت بواسطة مهندسين من البشر، في بعض الأحيان. وتوجه هذه

النتائج التي توصلنا إليها صفعة قوية للاعتقاد الشائع بأن الحاسب لا يمكن أن يكون مبتكراً. ولكن حينما نريد أن نصمم كائناً روبوتياً ذكياً ليؤدي وظيفة في العالم الحقيقي الواقعي، فإنه لابد من إختبار هذا التصميم إما في بيئة فيزيائية مادية تحاكي الواقع أو بإختباره مباشرة في العالم الحقيقي الواقعي. وبهذا يمكننا التعميم بأن الكائن المصنوع لا يمكن إختبار أدائه وهو مجرد صورة على حاسب في بيئة إفتراضية بل لابد أن يكون له جسد.

النتيجة النهائية للتجسيد والتي سنناقشها هنا تتعلق بالمنهج التركيبي (synthetic methodology): وهو منهج سنستخدمه عبر الكتاب وسنناقشه بالتفصيل في الفصل القادم. ونستطيع وصفه تحت شعار "الفهم من خلال البناء: "Understanding by building وحينما ندرس التجسيد، فإنه من الضروري بناء نظم فيزيائية فعلية، و حيث أننا مهتمون بالأنظمة الذكية فإنه غالبا ما ستكون هذه النظم روبوتية. فعلى سبيل المثال، إذا حاولنا فهم طريقة مشي البشر فإن المنهج التركيبي يتطلب منا بناء روبوت آليٍّ قادر فعلياً على المشي. وبالطبع يمكننا أن نستخدم المحاكاة حتى يتضح لنا شيء ما نرغب في معرفته عن المشي مثلاً بصفة عامة، ولكن المحاكاة يجب أن تستخدم في مطابقة فعلية للعمليات

الفيزيائية لمشي الروبوت. ولابد أن نهتم بمدى دِقّة المحاكاة أيضاً. وقد أظهرت التجارب أن معظم الرؤى المتطورة نشأت نتيجة لبناء نظام فيزيائي حقيقي. ومن السهل علينا أن نتحايل و"نغش" في المحاكاة: فالكائن القادر على الحركة مثل الروبوت أو الإنسان لابد أن يتمكن بصورة ما من التعامل مع المطبات الحقيقية في الأرض ولكن هذه المشكلة يمكن تغاضيها في المحاكاة (حيث أن كل مشكلة وحالة لابد أن تكون مبرمجة بوضوح). يتعارض أسلوب المنهج التركيبي مع الطرق التقليدية التحليلية والمستخدمة في علم الأحياء وعلم النفس وعلم خلايا أعصاب الدماغ، والتى يتم فيها تحليل وتشريح الحيوان أوالإنسان بالتفصيل وإجراء التجارب عليهما. و لكن يمكننا القول بأن دراسة العلوم عامة أصبحت تميل إلى المنهج التركيبي مؤخراً، كما يتضح ذلك من الازدهار السريع للعلوم الحاسوبية: فعلماء الفيزياء يعدون تجارب كثيرة باستخدام المحاكاة، والجراحون يجرون عمليات من خلال المحاكاة، وعلماء العقاقير يختبرون نتائج العقاقير بإستخدام المحاكاة أيضاً. ولكي تكون نتائج تجارب هذه المحاكاة مفيدة فعلاً، لابد وأن تكون دقيقة بقدر الإمكان. ولكن في نهاية المطاف حتى وإن تمت المحاكاة على درجة عالية من الدقة، فإنه

من الضروري والحتمي إجراء التجارب في العالم الحقيقي الواقعي لضمان نتائجها.

ملخص 1.6

دعونا نختصر النقاط الأساسية التي تطرقنا إليها حتى الآن. لقد بدأنا بتفحص مقولة ديكارت الشهيرة ومشكلة العقل - و - الجسد، ثم قدمنا مصطلحات التفكير والإدراك والذكاء، وأوضحنا أنه بالرغم من أنه لدينا فكرة جلية نوعاً ما عن المعنى المقصود من هذه المصطلحات إلا أن تعريفاتها مازالت غير مكتملة وغير محددة. وإضافة الى ذلك، فإنه من الأفضل إضفاء صبغة الإستمرارية عليها: بديهياً، فقد صوَّرنا أن بعض السلوكيات تتطلب تفكيراً أكثر من البعض الآخر، وأن بعض الحيوانات أكثر ذكاء من غيرها. ولكن بما أن جميع هذه المصطلحات وصفية، يجب علينا ألا نقضي الكثير من الوقت في إيجاد تعريفات قاطعة ومحددة لها. علينا أن نتذكر أن مصطلح التفكير يرتبط بالفكر الواعي الإرادي في الاستخدام العادي، أما مصطلح الإدراك فهو أعم إلى حد ما من المصطلح السابق، ويستخدم للتعبير عن السلوك الذي لا يرتبط بصورة مباشرة بالعمليات الإستشعارية الحسية - الحركية، أما مصطلح الذكاء فهو أكثر عمومية منهما ويتضمن أي نوع من السلوك – التجريدي كالإدراك

والتفكير– والذي يعتبر مفيدا للكائن. بعد ذلك ألقينا الضوء على بعض الأسباب التي تجعل موضوع الذكاء مشوقا جدا للباحثين؛ ومن ذلك أنه موضوع حساس يتميز به الإنسان دون غيره من سائر المخلوقات، وأنه أيضا سبب جدلاً مستمراً حول ما إذا كان الذكاء جينياً موروثاً – أو بيئياً مكتسباً خلال الحياة. ثم أشرنا إلى بعض الظواهر المرتبطة بالذكاء والتي يصعب تفسيرها والتى منها ظاهرتي الفهم أو الإستيعاب والذاكرة. ثم أوجزنا الصعوبات والمسائل المرتبطة بتعريف الذكاء، وأنه بطبيعته غير موضوعي، والأنواع المختلفة من الذكاء، وخاصية الإستمرارية في الذكاء. ثم بعد ذلك قدمنا بإيجاز المجال البحثي في الذكاء الاصطناعي، المتعلق بفهم الأنظمة البيولوجية الحيوية، واستخلاص مبادئ السلوك الذكي، وتصميم وبناء الأنظمة الاصطناعية. وتلى ذلك أن قدمنا فكرة مبدئية عن مفهوم التجسيد، ثم تناولنا باقتضاب بعض نتائجها بعيدة المدى مع التركيز على أهمية بناء الأنظمة الآلية الروبوتية الحقيقية الفعلية.

كما أشرنا بأننا سنتحدى النظرية التقليدية القائلة بأن العقل يحكم الجسد، وسنحاول أن نبين أن نظريات الذكاء الحاسوبي قد باءت بالفشل. إلى جانب ذلك سنحاول تفكيك الأسطورة القائلة أن الآلات لا يمكن أن تكون مبدعة.

باختصار، نود أن نؤكد على أهمية منظور التجسيد في فهم وتصميم النظم الذكية، ذلك لأن نتائجه تطابق الواقع وغير مبالغ فيها. وفي الفصل التالي سنقدم بإيجاز مسح شامل لمجال الذكاء الاصطناعي في وضعه الحالي: وسنوضح تركيبة هذا التخصص العلمي، ونصف أنواع البحث التي يتم إجرائها حالياً في هذا العلم، كما سنشرح كيف أن العديد من فروع الحقول العلمية ترتبط ببعضها البعض.

الفصل الثاني

الذكاء الإصطناعي: مسح شامل

في الفصل الدراسي الأول من العام الجامعي 2003 - 2004 م، قمت أنا (رولف) بشرح سلسلة من المحاضرات عن الذكاء الاصطناعي الحديث. والتى تم بثها من جامعة طوكيو على جميع أنحاء العالم: إلى بكين (الصين)، جدة (المملكة العربية السعودية)[16]، وارسو (بولندا)، ميونخ (ألمانيا)، وزيوريخ (سويسرا). وقد تم توصيل قاعة المحاضرات الإفتراضية العالمية من خلال تقنية متقدمة (للمؤتمرات المرئية والمسموعة video conferencing technology): مكَّنَت الطلاب الموجودين في جميع المواقع على الشبكة و حول العالم من المشاركة الكاملة، حيث أمكنهم طرح الأسئلة، ومشاهدة (عروض الفيديو video clips): ومشاهدة عروض الشرائح الإلكترونية على أجهزة حواسبهم المحمولة. ولقد كان الموضوع الرئيسي لهذه السلسلة من المحاضرات هو تأثير التجسيد على نظرية الذكاء، أو بمعنى آخر مدى علاقة كل من الذكاء والجسد ببعضهما. كل أسبوع، خصصت النصف ساعة الأخيرة من هذه المحاضرات العالمية لتقديم آخر الأبحاث في مجال الذكاء

الاصطناعي، وفي الأغلب كانت المشاركات من الباحثين اليابانيين. معظم هؤلاء الباحثين – يعدون باحثين من الطراز الأول – قدموا نماذج لروبوتات تتحرك: مثل الثعابين، أو روبوتات ذات قدمين تسير مثل البشر، وأخرى تستطيع الوقوف من وضع الإستلقاء. وقد أثار ذلك تساؤلا حول علاقة السير والتحرك بالذكاء؛ ومع التفكير؟ ولكن لماذا نبحث في حركة الروبوتات، والحيوانات والبشر إذا كنا نهتم بفهم ماهية الذكاء؟ أحد أهداف هذا الكتاب هو محاولة الإجابة عن مثل هذه الأسئلة المحيرة. نأمل أنه كلما تعمقنا في الموضوع سيتضح لنا أن العلاقة بين الحركة والتفكير مباشِرَة إلى حد بعيد، وأن الذكاء لا يمكن فهمه إذا لم نتفهم أساسيات الحركة – وهذه النقطة قد تمت مناقشتها في الفصل السابق.

ولكن قبل المضي قدما ولكي نشعر بأهمية موضوع البحث أكثر فإننا نريد أن نلقي نظرة عامة على الذكاء الاصطناعي: البنية العلمية التركيبية لهذا العلم، أنواع البحوث التى تمت، وطرق إرتباط المجالات العلمية المتعددة ببعضها البعض.

أول ما يجب ملاحظته هو أن هناك اختلاف واضح بين المنهج التقليدي أو الكلاسيكي، أيضا يسمى أحيانا (منهج

معالجة الرموز: symbol - processing approach)، وبين المنهج الحديث المعروف بالتجسيد، هذا الإختلاف الذى سنوضحه بالتفصيل فيما يلي (انظر شكل رقم 2.1). وستلاحظ أنك عند طباعة الكلمات "الذكاء الإصطناعي المجسد" في أي محرك بحث كغوغل مثلاً، لن تجد الكثير من الكتب والمقالات تحت هذا العنوان. وأيضا بالتدقيق في المعلومات المعطاة سيتضح لك أن نتيجة البحث لا تعكس بأي شكل ما يدرسه الباحثون فعلا في هذا المجال الآن. ونتساءل: ما ذا يعني هذا بالنسبة لهذا المجال العلمي؟ سنحاول الإجابة على هذا السؤال في هذا الفصل من الكتاب.

بعد أن نقدم مسحاً لنجاحات ومشاكل الاتجاه التقليدي سنغير اتجاهنا نحو ما نسميه "جولة التجسيد :the embodied turn" أو بكلمات أخرى النموذج الجديد في أبحاث الذكاء الاصطناعي. وسنناقش كيف تغير الدور الذي لعبته علوم خلايا أعصاب الدماغ في هذا التخصص مع مرور الزمن، ثم سنبين كيف انقسم مجال الذكاء الإصطناعي التقليدي الى مجالات وفروع متعددة. سنتتبع ذلك بنظرة شاملة على التخصصات ذات العلاقة بالذكاء المجسد: مثل (علم الروبوتات الحيوية biorobotics)، الروبوتات: (المتطورة

والتى منها (developmental robotics: الروبوتات المشابهة للبشر، (حاسبات كل مكان ubiquitous computing)، (تكنولوجيا الواجهة interfacing technology: الإلكترونية)، (الحياة artificial life: الإصطناعية)، (نظم الكائنات multiagent systems: المتعددة)، (علم evolutionary robotics: الروبوتات التطورية).



شكل 2.1

توجد طريقتين للنظر إلى الذكاء: (أ) المنهج التقليدي حيث يكون التركيز على الدماغ والمعالجة المركزية. (ب) المنهج الحديث حيث يكون التركيز على التفاعل مع البيئة. وينتج الإدراك من التفاعل بين النظام - والبيئة، كما سنوضح في هذا الكتاب.

نجاح المنهج التقليدي 2.1

ظهر مصطلح "الذكاء المجسد" في مجال الذكاء الاصطناعي أول مرة في منتصف الثمانينات نتيجة كرد فعل على المنهج الكلاسيكي أو التقليدي، الذي ينظر الى الذكاء على أنه مجرد (معالجة رمز symbol

لقد كان محور الاهتمام في المنهج .(processing التقليدي هو اللوغاريثم أو البرنامج وليس الأجهزة (الجسم أو العقل) التي تُشَغِّلَها. إن حل المشاكل من خلال البرمجيات فقط دون ربطها مع أي جهاز محدد يطلق عليه (الأداء المجرد :Abstract functioning) وهذه الفكرة قوية ومؤثرة للغاية ويمكن القول بأنها أحد أهم الأسباب التي جعلت الحاسبات تغزو العالم اليوم: كل ما يهم هو البرامج التي تشغلها على جهازك؛ الجهاز بحد ذاته غير مهم. ويعود هذ الاتجاه في التفكير الى مؤتمر الذي عقد عام 1956م في (Dartmouth :(دارموث الصغيرة في نيوهامبشر (Hanover) قرية هانوفر (New Hampshire) عندما تم تدشين "الذكاء الاصطناعي" رسميا كمجال جديد للبحث (لقراءة نبذة مختصرة عن تاريخ الذكاء الاصطناعي (انظر مربع إطار التوضيح 2.1). كما صاغ الفيلسوف الأمريكي جون هوغلاند (John Haugeland)، من جامعة شيكاغو، مصطلحاً مختصراً أطلق عليه (قوفا :GOFAI) والذي يعني (الذكاء الاصطناعي القديم :GOFAI - “Good Old - Fashioned Artificial Intelligence)، لتصميم هذا المنهج في كتابه المشهور (الذكاء الاصطناعي: الفكرة بحد ذاتها:

Artificial Intelligence: The Very Idea) والصادر عام 1985م وفي بحثه الفلسفي الممتاز حول منهج الذكاء الاصطناعي الكلاسيكي أو التقليدي، (هوغلاند، 1985 م)).

لقد وضع المنظور الكلاسيكي للذكاء الاصطناعي الإنسان في المركز، واعتبر الذكاء الانساني هو الأساس. ولقد إنعكس ذلك على أنواع مجالات البحث المفضلة فانحصرت في اللغات الطبيعية، (التمثيل المعرفي: knowledge representation)، (المنطق التأملي: reasoning)، و إثبات النظريات الرياضية، والألعاب الرسمية مثل الشطرنج ولعبة المدققون الصينية، و(حل مشكلات نظم الخبرة: expert problem solving). وقد أصبح المجال الأخير وتطبيقاته ونماذجه رائجاً جداً في الثمانينات. وأطلق على هذه النماذج النظم الخبيرة، وهدفت إلى استبدال الخبراء من البشر أو على الأقل إلى القيام ببعض مهامهم في مجالات مختلفة، مثل التشخيص الطبي والتقني، و(تعريف أنظمة الحاسب المعقدة: configuration of complex computer systems) على الأجهزة ذاتياً، وإدارة المحافظ الاستثمارية مثلاً. ولقد لخَّصت هذه الأنظمة المنهج التقليدي الذي يعتبر البشر

رموزا في نظم يمكن معالجتها والتحكم بها مثلما تفعل أجهزة الحاسوب. وهذا ما يسمى بـ (منهج معالجة المعلومات: information - processing approach) والذي أثر بشدة على الباحثين ليس فقط فيما يخص الذكاء الاصطناعي بل أيضا في علم النفس و(علوم الأعصاب الادراكية أو المعرفية: cognitive neurosciences). ويبدو أن العلماء والناس بصفة عامة الآن ينظرون الى الذكاء البشري على أنه معالجة للمعلومات. ويظل خط الدفاع الشائع عن هذه الفكرة القول: "كيف يمكن أن يكون غير ذلك ؟". وقد تعاون علماء الحاسبات وعلماء النفس لتطوير نماذج معالجة معلومات لحل مشكلات عن السلوك البشري، وبالذات النظم الخبيرة.

مربع إطار التوضيح 1-2:
تاريخ الذكاء الاصطناعي

أن تاريخ Brighton) (برايتون، 2004 م ،اعتبر بعض الكُتَّاب الذكاء الاصطناعي بدأ تقريبا في السنة 3000 قبل الميلاد في الأقصر (بمصر) حيث وجدت تقارير طبية على ورق البردي بشكل الأنظمة الخبيرة الطبية كالتالي: (إذا كان لدى المريض هذه الأعراض، فإن لديه هذا المرض من خلال التشخيص إذا يتم تطبيق هذا العلاج). ولكن من المتفق عليه أنّ المجال بدأ فعلا بمؤتمر دارتموث المشهور حقا في عام 1956م، ومن بين الذين أطلق عليهم أباء الذكاء الاصطناعي "مارفن مينسكي (Marvin

ألين نيويل (John McCarthy)، جون ماكارثي (Minsky)، (Allen Newell)، هيربيرت سايمون (Simon Herbert)، الذين اجتمعوا حول فكرة (Claude Shannon كلود شانون أن "كل جانب من جوانب التعلم وكل صفة من صفات الذكاء يمكن وصفها بدقَّة بحيث يمكن للآلة محاكاتها". ولقد كان هذا (اقتراح مشروع دارتموث في الذكاء الاصطناعي، في 31 أغسطس من عام 1955م). حيث دارت المناقشات حول السؤال عن كيفية إمكانية محاكاة عمليات التفكير الإنساني في الحاسوب. وللإجابة على هذا السؤال تطلّب، وما زال يتطلّب، معرفة العديد من المجالات المختلفة. وفي النهاية، وجدت اللغة المشتركة و التي بواسطتها استطاع الباحثون في المجالات المختلفة أن يتخاطبوا مع بعضهم البعض ويصوغوا نظرياتهم؛ وهذه كانت لغة معالجة المعلومات والتعامل مع الرموز. وبذلك ازدهرهذا المجال من المعرفة وانتشر عبر كامل أراضي الولايات المتحدة فظهرت برامج الحاسوب للغات الطبيعية، وبرامج حاسبات لإثبات النظريات الرياضية، ولمعالجة الصيغ الرياضية، وأخرى لحلّ المشاكل المجرّدة، وبرامج متخصصة في لعب الألعاب المعروفة مثل مدقّقين وشطرنج، وأيضا برامج في التخطيط وحلّ مشكلات العالم الحقيقي الواقعي– والأنظمة الخبيرة – التى تطورت وظهرت في كل مكان.

تم تطوير الأنظمة الخبيرة، ونذكر بعضها هنا وبشكل محدّد أنظمة أغراض التشخيص الطبي، وتحليل وإصلاح الأجهزة التى بها أعطال، وتقييم القروض التجارية في البنوك، وتعريف أنظمة الحاسب المعقدة، وإدارة المحافظ. لقد كانت الفكرة هي عمل نموذج إنساني خبير، مثل الطبيب والفيزيائي المجرّب، باستعمال مجموعة من القوانين مثل "إذا كانت هناك بقع حمراء على الجلد عند مريض، و عنده حمّى عالية، و...فسبب العدوى على الأغلب هو... (لاحظ التشابه مع النظام المصري السابق). وتوقع هيربيرت سايمون، في 1965 م أنه بحلول العام 1985م ستتمكن الآلات من القيام بأي عمل عقلاني يستطيع الإنسان القيام به. و لكن بحلول

نهاية الثمانينات معظم الشركات التي بدأت بتطوير الأنظمة الخبيرة أعلنت إفلاسها؛ وبذلك فإن هدف بناء نظم قادرة على حل مشكلاتها ذاتيا– لتحل مكان الخبرات الإنسانية– تم الاستغناء عنها. وأصبح من الواضح فشل تصور إحلال الخبرات الإنسانية المعتمد على معالجة الرموز الذى لم يوصلنا إلى النتائج المتوقعة. لذا قام المصنعون للبرامج والأجهزة التطبيقية في هذا المجال بتغيير توجههم من حل المشاكل ذاتيا إلى إبتكارات حديثة لدعم الذكاء البشري.

إضافة إلى ماحدث من نكسات في مجال الأنظمة الخبيرة، كانت هناك أيضا إحباطات جدّية في مجالات قدرة الحاسب على الرؤية أومعالجة الكلام. وحتى الآن لم يتم التوصل لإنجازات على مستوى الآلة تضاهي مستوى قدرة الإنسان في التعرف على الأجسام من مسافات مختلفة، أو مع تخطي شروط أوضاع الإضاءة أو في أوضاع الإحتجاب الجزئي للجسم – كما لم يتم حتى إنجازها في الأنظمة الذكية عن بعد. وبالمثل، فعلى الرغم من الاستثمارات الضخمة في أنظمة الكلام، فإن مقدرة ودقة هذه النظم ظل دون المتوقّع وبالتالي أثر ذلك على فائدة التطبيق العملي. تشكل الأبحاث في الرؤية والكلام على وجه الخصوص تحديا حيث أنها من الظواهر الطبيعية التي تعتمد بشدّة على العالم الحقيقي الواقعي. وهكذا لم تنجح محاولة إنجاز نموذج لتقليد اللغة الانسانية الطبيعية أواستشعار الرؤية من خلال نماذج لوغاريتمية تقليدية.

لحسن حظ العديد من الباحثين في هذه الحقول ظهر مجال جديد في أوائل الثمانينات، عرف بإسم (الإتصالية :connectionism) والذى يحاول إنجاز نموذج لربط ظواهر في علم الإدراك بإستخدام تقنية الشبكات العصبية. فالشبكات العصبية هي نماذج حاسوبية جاء الهامها من الأدمغة البيولوجية الحيوية، ولهذا فإن العديد منها يرث قدرة الدماغ الجوهرية في التكيف والتعميم والتعلم. ولأنها تعتمد على معالجة الأنماط بدلا من معالجة الرموز فقد أمل الباحثون بأنّ

تكون الشبكات العصبية أقدر على وصف الظواهر العقلية الطبيعية، بعد أن فشلت اللوغاريتمات المتعلقة بالأنظمة الخبيرة في ذلك.
وفي الحقيقة لم تكن الإتصالية مجالا علميا جديدا فقد وُجِدَت الشبكات العصبية منذ أربعينات القرن العشرين عندما اِقتُرِحَت كنماذج للشبكات العصبية البيولوجية الحيوية (مكولوك وبيتس، 1943 McCulloch and Pitts,). ثم أعيد ظهورها في م الثمانينات كأدوات حاسوبية كما في عصر النهضة. على أية حال، وبالرغم من أن هناك تقدّم مؤكّد، إلا أن أغلب هذه النماذج كانت فقط لوغاريتمات (algorithms): لذا لم يمكن استخدامها لحلّ المشاكل الكبيرة التى يمكن من خلالها التحكم في التفاعل مع العالم الخارجي أيضا. وعلى الرغم من التقدّم الذي حدث لم تكن هناك إكتشافات حقيقية خارقة في استعمال الشبكات العصبية للهيمنة على نظم المعرفة الخبيرة، ولبناء أنظمة الكلام، أو لاستيعاب البيئة. و إن إدراك هذه الحقيقة شكل إحباطاً آخراً لباحثي الذكاء الاصطناعي.
بعد كل هذه النكسات، كان المجال في حاجة ماسة لتغيير حقيقي في الاتجاه، و في منتصف الثمانينات اقترح رودني بروكس (Rodney Brooks) بأنّ كلّ التركيز كان منصباً على المنطق الرياضي، وحلّ المشاكل، وأن (المنطق التأملي reasoning:) كان يستند على) تأملنا لأنفسنا – كيف نميل إلى تصور أنفسنا وعملياتنا العقلية الخاصة – وهذه الطريقة التي ضللت البحث العلمي في الذكاء الاصطناعي. وبدلا من ذلك، قدم اقتراحاً جوهرياً: بأنّنا يجب أن ننسى موضوع معالجة الرمز، و التمثيل الداخلي، العالي المستوى من الإدراك، ونركز على التفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي: فكان الشعار الجديد للذكاء المجسد هو أن "الذكاء يتطلّب جسدا". و بهذا التغيير في التصور بدأ التحول في طبيعة الأسئلة البحثية وأصبح المجتمع العلمي مهتما بالحركة، والتحريك، و بصفة عامة البحث في الكيفية التي تمكّن الكائن من التصرف والعمل بنجاح في عالم متغير.
ونتيجة لذلك، بدأ العديد من الباحثون على مستوى العالم، البحث على الروبوتات. ولكن حتى من خلال البحث حول الروبوتات لم

يمكنهم حل المشكلات بصورة أتوماتيكية كاملة. لأن أداء معظم الروبوتات للمهام التى تتطلب التعامل مع العالم والزمن الحقيقي – مثل المشي؛ الجري؛ الإدراك وتحريك الأشياء – ظل غير مرض. حيث كان هناك شيئاً مفقوداً. ونشك أن السبب وراء ذلك هو استخدام الروبوتات بالطريقة التقليدية: حيث برمج الباحثون الروبوتات مباشرة ليقوموا بمهامهم. وهذا عادة ما يؤدى إلى حلول حاسوبية مكلفة لم تنتج فقط سلوكا غير طبيعي ولكنها أيضا بطيئة جدا في التنفيذ، ومثال ذلك: إدارة السلوك. لهذا، فان مفهوم التجسيد لا يتضمن فقط كون الكائن لابد وأن يكون له جسد – فالروبوتات لديها أجساد – بل ذلك يتضمن أيضا أن على الفرد أن يتبع أسلوبا محددا عند تصميم الروبوتات و بشكل عام الكائنات الذكية؛ فعلى الباحث أن يصمم ولديه توجه نظري في ذهنه، كما سنوضح في هذا الكتاب لاحقاً. وبالرغم من أننا مقتنعون بفاعلية هذا الأسلوب، إلا أن الوقت سيبرهن لنا ما إذا كانت النتائج المبنية على التجسيد أكثر نجاحاً مما سبقها أم لا.

في الثمانينات كانت هناك الكثير من الدعاية حول الأنظمة الخبيرة، وبدأت العديد من الشركات في تطويرهذه الأنظمة – ولكن تأتي الرياح بما لا تشتهي السفن فقد أفلس الكثيرون ممن اهتموا بمفهوم الخبرات البشرية والذكاء البشري عامة بعد أن ثبت فشلها كما سنوضح في الفقرة القادمة (انظر أيضا (كلينسي، 1997م، Clancey)، و(فايفر وشير، 1999م، Pfeifer and Scheier)، و(ينوغراد وفلورز، 1989م، Winograd and Flores)).

وفي منتصف الثمانينات، إزدهرالمنهج التقليدي ليصبح مجالاً دراسياً واسعاً، ذا جوانب متعددة وحدود مبهمة، ولكن رغم عيوبه فقد استطاع تحقيق الكثير من النجاحات. فكلما قمت بتشغيل جهاز حاسبك المحمول فأنت بلا شك تُشَغِّل العديد من اللوغاريتمات التي يعود منشأها الى مجال الذكاء الاصطناعي. وعند استخدامك لمحرك بحث في الإنترنت فأنت مثلا تستخدم لوغاريتمات ذكية لتَعَلُّم – الآلة.

أي اذا كنت تستخدم نظام (معالجة - النصوص: text - processing) فأنت بالتالي تستخدم لوغاريتمات تحاول أن تستنتج ما تقصده من خلال سياق ما قمت بكتابته سابقاً، وهي عادة ما تقدم لك النصيحة. لذا تعج التطبيقات العديدة بلوغاريتمات الذكاء الإصطناعي والتى منها واجهات نظام اللغة الطبيعية، وألعاب الحاسب، وأجهزة التحكم، والأجهزة الإلكترونية المنزلية، والمصاعد، والسيارات، والقطارات. وفي الآونة الأخيرة، تم تطوير أنظمة (تنقيب البيانات: data - mining) التى تعتمد بشدة على تقنيات تعلم – الآلة، كما تم تصميم برامج الشطرنج التي تستطيع هزيمة أي شخص على كوكب الأرض، وهذا يعتبر بالفعل إنجاز كبير! إن تطوير مثل هذه الأنواع من الأنظمة، وعلى

الرغم من أن أصلها يعود لعلم الذكاء الاصطناعي فقد أصبح اليوم من الصعب تمييزها عن تطبيقات المعلوماتية بشكل عام: لان هذه الانظمة حاليا أصبحت عنصراً أساسياً في تقنية الحاسبات.

إشكاليات الطريقة التقليدية 2.2

لم يكن الهدف الأصلي للذكاء الاصطناعي تطوير لوغاريتمات ذكية فقط، ولكن أيضاً فهم أشكال الذكاء الطبيعية، التي تتطلب تفاعلاً مباشراً مع العالم الحقيقي الواقعي. وحالياً يمكن القول بأن الطريقة التقليدية أخفقت في تعميق فهمنا للعديد من عمليات الذكاء. كيف يمكننا الإحساس بكل المشاهد اليومية أو التعرف على وجه شخص ما في الزحام، على سبيل المثال؟ كيف يمكننا تحريك الأجسام، خاصة الأجسام المكونة من المواد المرنة و الناعمة مثل الملابس، والخيوط و الورق؟ كيف نمشي، ونجري، ونركب الدراجة و نرقص؟ ما هو الحدس السليم(common sense :)، وكيف نستطيع فهم وإنتاج اللغة الطبيعية التى نتحدث بها يوميا؟ لا حاجة للقول أن محاولة الإجابة عن هذه الأسئلة تتطلب منا أن نضع في الاعتبار ليس فقط العقل، و لكن أيضاً كيف يتفاعل الجسم والعقل في الكائن الذكي مع العالم الحقيقي الواقعي.

إن المنـهج التقليدي في تطبيقات رؤية الحاسب (الذي يعتبر أحد أشكال الذكاء الاصطناعي) كان ناجحاً، على سبيل المثال، في بيئة المصانع حيث ظروف الإضاءة الثابتة، الوضع الهندسي للموقف بحيث يكون معرَّفاً تماماً ومسبقاً (بمعنى، آلة التصوير دائماً في نفس المكان، وتظهر الأجسام دائماً في نفس الموقع داخل الحيز المحدد، أنواع الأجسام المحتمل ظهورها معروفة وبالتالي يمكن تشكيلها)، كما توجد دائما تجهيزات كافية للطاقة. لكن إذا تغيرت هذه الظروف فإن هذه الأنظمة تفشل فشلاً ذريعاً. وفي العالم الحقيقي الواقعي فإن هذه الظروف الثابتة والمعتدلة لا يمكن أن تتحقق، فالمسافة بين جسم ما والعين تتغير باستمرار كنتيجة لتتابع الحركة هنا وهناك، وظروف الإضاءة والأوضاع تتغير دائماً؛ والأجسام غالباً ما تحجب عن الرؤيا كلياً أو جزئياً نتيجة لحركتها، وتظهرالأجسام بخلفية مختلفة جدا ومتغيرة. إن أنظمة الرؤية ذات القدرات المشابهة للرؤية الإنسانية، والتي يمكن أن تتعامل بسرعة مع الظروف المختلفة، مازالت أبعد ما تكون عن التحقيق في النظم الإصطناعية.

الحيوانات والبشر– بما في ذلك الحيوانات البسيطة مثل الحشرات – ماهرة جداً في تحريك الأجسام. فالنمل، على سبيل المثال، معروف بقدرته الكبيرة على حمل

أشياء كبيرة مثل الأوراق، ويقوم بذلك النمل عن طريق تعاون الأفراد مع بعضهم. انظر إلى الكلب وهو يمضغ العظم ويتحكم فيه بأقدامه وفمه ولسانه: شيء لا يصدق! فبالرغم من أن بعض المكائن المتخصصة يمكنها التفوق على الإنسان في إنجاز العمل اليدوي، مثل – تثبيت البراغي، والتقاط الأجسام للتغليف في خطوط الإنتاج، ورفع الأجسام الثقيلة في مواقع البناء، أو عمل حركات دقيقة جداً في العمليات الجراحية – إلا أن المحصلة هي أن القدرات الطبيعية بصفة عامة في التحريك لايمكن مناظرتها مع النظم الآلية.

التحرَك نقطة أخرى هامة يجب أخدها في الاعتبار. تتحرك الحيوانات والبشر بمرونة ورشاقة مدهشة. وبالنظر إلى طريقة تحليق الحشرات نجدها تحلق بأنماط معقدة وبدقة هائلة شيء مذهل حقاً، خصوصاً عند النظر إلى مدى صغر عقولها: حيث تعد أصغر بمليون مرة من عقل الإنسان. مراقبة الفهد يجري بسرعة فائقة منظرً جمالي يدخل السرور إلى النفس. تتحرك القرود في الغابات الاستوائية المطيرة بالتسلُّق والعوم و المشي والركض بمهارة خارقة للطبيعة. الإنسان يمكنه المشي بحقيبة في يد واحدة، بينما ذراعه الأخرى ملتفة حول خصررفيقه، صعودا ونزولا من السلم وهو ينظر حوله

ويدخن سيجارة، كما يمكنه المشي بطريقة سخيفة (كما في الرسم (John Cleese) أوضح جون كليسي التخطيطى المشهور مونتي بايثون (Monty Python)، "وزارة المشي السخيف: The Ministry of Silly Walks "). وحتى الآن، لا توجد روبوتات رشيقة يمكن أن تقترب من أي من هذه القدرات الفاخرة. وبناء روبوت يمكنه الجري مازال أحد التحديات الكبرى في علم الروبوتات.

وعلى الرغم من أن الكثير من العمل قد أنجز على الروبوتات منذ الأيام الأولى من المنهج التقليدي في الذكاء الاصطناعي، الذي بدأ في الستينات، الاّ إن أداء هذه الآلات لم يكن جيدا من ناحية القدرة على تعديل الإتجاه، والسرعة، والقدرة على تحريك الأجسام. أحد هذه الأسباب المهمة هو أنه، من وجهة النظر التقليدية، تستند القدرة على فهم وتحديد الوضع بالإعتماد على تفاصيل لنماذج داخلية أو تمثيل للعالم الخارجي – وهذا يتطلب إما أن تبرمج هذه النماذج ضمنياً في الروبوت (وهذا مايتم في الروبوتات الصناعية، على سبيل المثال) أو أن الروبوتات عليها أن تتعلمها عندما تتفاعل مع البيئة؛ و في هذه الحالة يجب أن يتم تحديث النماذج والمعلومات بشكل مستمر حتى تبقى على أتصال ثابت

متواصل مع العالم الحقيقي الواقعي. وكلما كانت هذه النماذج أكثر تعقيداً، كلما احتاجت لجهد أكثر لاكتساب البيانات المناسبة لصيانتها. خذ مثلاً خريطة مدينة كنموذج مصغر من العالم الحقيقي الواقعي. فكلما احتوت الخريطة على تفاصيل أكثر، كلما كان من الأصعب موافقتها مع الواقع. فإذا أخذنا في الحسبان مواقع البناء، أو الطرق المغلقة مؤقتا، أو كثافة الحركة المرورية الحالية، فإن الخريطة بأكملها لابد وأن يتم تعديل بياناتها بصورة مستمرةً. وإذا خصصت الخريطة للسائقين، كتلك المستعملة في أنظمة ملاحة السيارة، فإن المعلومات حول كثافة حركة المرور وتحويلات الحركة المرورية ستكون مفيدة جداً، ولكن إبقاء بيانات الخريطة محدثة باستمرار يتطلب مصادر وموارد ضخمة ومكلفة جدا. لذا فبالنسبة للأغراض الأخرى، مثل الطبقة الجغرافية، فإن الخريطة العامة ستكون أكثر من كافية وتتطلب تحديثاً ضئيلا جداً.

إن الموضوع الذي جذب الكثير من الانتباه هو قضية الحدس السليم، لأنها أساسية للسيطرة على حياتنا اليومية و تستطيع أيضاً أن تحسم لنا فهم اللغة الطبيعية. من وجهة نظر المنهج التقليدي، فإن الحدس السليم ينظر إليه على أنه عبارة عن حقائق سليمة منطقيا تسمى "مُسَلَّمَة": إن الكتلة البنائية في المنطق المعرفي للحدس

السليم ممكن أن تبدأ كبديهة لتصبح من المسلمات، فعلى سبيل المثال – "السيارات لا تستطيع أن تصبح حاملاً كالنساء"، "الأجسام (عادة) لا تطير"، "الناس عندهم إحتياجات بيولوجية حيوية (فهم يجوعون ويعطشون)"، "الفيروسات تسبب الالتهابات"، "الأمراض لابد من تجنبها"، "إذا سقط الكأس الزجاجي على الأرض فإنه عادة ما ينكسر"، وغير ذلك. إن بناء أنظمة يندرج فيها هذا النوع من المنطق المعرفي البديهي كانت هدفاً للعديد من أنظمة اللغة الطبيعية التقليدية، وأنظمة حل المشاكل التقليدية، فعلى سبيل المثال مشروع CYC (لمعرفة تقرير عن الخمس سنوات الأولى عن المشروع، أنظر(قوها و لينات، 1990 م Guha and Lenat)، على: (موسوعة CYC و تدل الأحرف .) encyclopedia وتشير إلى ما أراد أن يحققه الباحثون في هذا المشروع، وهو ما أسموه موسوعة أو مُسَلَّمَة أو أطلق عليه فيما بعد (المعرفة الاقتراحية: CYC propositional knowledge). بدأ عالم الحاسب بجامعة ستانفورد ورائد الذكاء الاصطناعي دوغ لينات (Doug Lenat) هذا المشروع الجدلي في عام 1984م. وفي عام 1991م توقع بأن برنامجه في منتصف التسعينات سوف يستطيع الحصول على المعرفة

الجديدة وببساطة عن طريق قراءة نص بدلا من برمجته مسبقاً من قبل البَشَر (وود، 2002م Wood)، وهذه؛ واحدة من العديد من التنبؤات الخاصة بالذكاء الاصطناعي التي لم تتحقق بعد. ومن المدهش أن بعض الباحثين لايزال يعتقد أن مجموعة كبيرة من – الجمل المبنية على المنطق السليم – مع بعض قواعد الاستدلال هي كل ما نحتاج إليه لتمثيل المنطق المعرفي السليم بما في ذلك البديهيات.

وفي عام 2004 م منحت DARPA (وكالة الدفاع البحثي المتقدم: (Defense Advanced Research Project Agency قسم) من، مشروع البحوث بالجيش الأمريكي (American military's research arm: الباحثين الأمريكيين عقدا بقيمة 400.000 دولار أمريكي لمحاولة بناء آلة يمكنها التعلم فقط من قراءة النصوص. إحدى المشاكل بمشروع CYC، وبكل المشاريع القادمة التى لها هدف مماثل كان (ومازال) الحدس السليم لا يمكن حصره من خلال مجموعة من القوانين، ولكن يتطلب تفاعلاً مع العالم الحقيقي الواقعي.

على سبيل المثال، كلنا نملك فهم حدسي للكلمة "شرب". إذا كنت تريد الآن أن تشرب، فالذي يمكن أن

يخطر إلى العقل هو: الظمأ، والسائل، والجعة،و أشعة شمس حارة، وإحساس السائل في فمك، وعلى الشفاه، وعلى لسانك عندما تشرب، وكيف ينزلق في جوفك وحنجرتك. وكيف تشعر به معدتك، وتجربة الارتواء بعد الشرب حينما كنت ظمآناً جداً، و تجربة رؤية شراب بارد يقدم في مقهى ساحلي في يوم صيفي حار، الإحباط الذي تحس به عندما تتلوث بدلتك الجديدة لسقوط مشروب عليها مثلاً، الإحساس بالبلل عند إنسكاب الماء على ملابسك الداخلية، وغيره. إنه هذا النوع من الحدس السليم الذي يشكِّل أساس التواصل اللغوي اليومي، وهو في تجسيدنا المحدد؛ وفي (grounded in: راسخ) خبراتنا التفاعلية مع الأجسام الموجودة في العالم الحقيقي الواقعي. وفي حدود معرفتنا، لا توجد حالياً أنظمة اصطناعية قادرة على التعامل مع هذا النوع من المعرفة بطريقة مرنة ومتكيفة، لأنها ليست حدسية وبالتالي يصعب وضعها في قالب متوافق مع النظام الرمزي البعيد عن الواقع.

أنظمة التعرف الآلي على الكلام هي الأخرى فرع آخر من فروع الذكاء الاصطناعي التقليدي. فاللغة الطبيعية (تختلف عن اللغة الرسمية مثل لغة برامج الحاسبات أو الرياضيات) – وهي إحدى أكثر القدرات الجوهرية

المميزة لذكاء الكائن، وان السعي لفهم وبناء أنظمة قائمة على اللغة الطبيعية له تاريخ طويل في الذكاء الاصطناعي. في البداية، سُخِرَت الجهود في اغلبها نحو معالجة اللغة المكتوبة. ولاحقاً، جذب التعرف الآلي على الكلام اهتمام العديد من الباحثين، لكن كثرت التوقعات والتنبؤات الخاطئة حول سرعة تطوير أنظمته. وبالتبعية كانت هناك إحباطات عديدة، وبالتالي تأثرت سمعة مجال الذكاء الاصطناعي. وبينما تعتبر أنظمة التعرف الآلي على الكلام مفيدة في التطبيقات الحصرية المحددة، وخاصة عندما يكون نظام تعرف لكل كلمة على حدة – كما في بعض تطبيقات الهاتف الجوال، إلا أن أنظمة التعرف الآلي على الكلام التي يمكن أن تعالج جملاً كاملة أو الكلام المتصل السريع وفي البيئات الصاخبة، لم تظهر في الأسواق حتى الآن.

ولابد أن تتناغم أنظمة تحويل الكلام إلى نص مع أصوات المتكلمين وقد يطلق عليها أيضاً "الآلآت الكاتبة الصوتية"، وعادة فإن الكثير من النص الناتج بواسطة هذه التطبيقات يجب مراجعتة و تعديله. بمعنى آخر، عادة ما يحتوي النص على العديد من الأخطاء التي يجب أن تُصحح. وقد يكون هذا أحد أهم أسباب عدم تطبيق أنظمة التعرف الآلي على الأصوات بصورة واسعة وعلى

تطبيقات عديدة، بالرغم من أن فكرة عدم الكتابة – وإخراج النص على الشاشة بسرعة تتوافق مع سرعة الكلام المنطوق وتتم ببساطة من خلال التحدث عبر مكبر صوت – هي فكرة جذابة جداً. على الرغم من أن بعض الأنظمة تعمل بشكل جيد وأثبتت فائدتها، إلا أنه لم يتم توفر نظام عام يحاكي ولو من بعيد اللغة الطبيعية في أداءه قدرة النظام البشري المستخدم في المحادثة اليومية. (ومن الطريف أن نلاحظ أن الشركات الكبرى التي تعمل في مجال الكلام الآلى قد أفلست في السنوات الأخيرة. وأشهر مثال هو ماحدث لمنتجات الكلام الآلى في بلجيكا للشركة المعروفة بإسم ليرن أوت وهوسبي (L&H, Lernout and Houspie)، التي كانت أحد أهم ثلاثة مسوقين في العالم لأنظمة تحويل التعرف الآلي على الأصوات، أما الشركتان الاخريتان فهما دراغون سيستمز (Dragon Systems) و آي بي إم (IBM.) وقد أعلن رسمياً أن عملية الإفلاس كانت بسبب صفقات مالية محظورة وإحصائيات مبيعات خاطئة، و لكن يمكننا التنبؤ بأنه بالاضافة لوجود مشاكل مالية وقانونية الا أن عدم كفاءة تقنية الكلام جعلت الأمور أكثر سوءاً).

هناك أسلوب آخر للنظر إلى حالات نجاح و فشل الذكاء الاصطناعي التقليدي، حيث يمكننا القول أنها كانت ناجحة في تلك المهام التي يعتبرها الإنسان صعبة – لعب الشطرنج، تطبيق قواعد المنطق، إثبات النظريات الرياضية، أو حل المشاكل المجردة – أما السلوكيات التي نعتبرها طبيعية وعفوية، مثل الرؤية، أوالسمع، أوالتخاطب، أوركوب الدراجة، أوالمشي، أوالشرب من كأس، أوتجميع سيارة من أحجارلعبة ليجو، أوالكلام، أوارتداء الملابس، أووضع الماكياج، أو تفريش الأسنان – جميعها مهارات تتطلب حدساً سليماً – فقد ثبت مدى صعوبتها. حيث أن النجاح في محاكاة هذه المهارات في الأنظمة الاصطناعية محدودٌ جداً، وهذا أقل ما يمكن أن يذكر؛ وعليه يمكننا القول ببساطة أن (المنهج اللوغاريتمي: (algorithmic approach لم يساعد كثيراً في فهم الذكاء (انظر أيضا فيفر وشير، 1999م، Pfeifer and Scheier).

2.3 التحول نحو التجسيد

تعود حالات الفشل السابقة بشكل كبير إلى عدم وجود تفاعل مقتن بين النظام الذكي والبيئة، مما دفع بعض الباحثين لمتابعة أبحاثهم في طريق مختلف فاتجهوا نحو التجسيد. ومع تغير المنظور البحثي، بدأت تتغير طبيعة

أسئلة البحث العلمي. كان رودني بروكس، مدير مختبر لعلوم الحاسب والذكاء الاصطناعي،(MIT) :(إم آى تي هذا المختبر الذي يحتوي على ألف باحث، كان احد أوئل الجهات التى روجت للذكاء المجسد. وناقش بروكس أنه يجب أن لا يتم التركيز على (عمليات التمثيل الداخلي المعقدة: (complex internal representations للمعلومات، بدلا من ذلك فالأحرى بنا أن نركز على تفاعل البيئة مع النظام وكتب سلسلة من الأبحاث مثيرة (Brooks ،(1991 م في المجال تحمل العناوين التالية "الذكاء بدون تمثيل: Intelligence Without Representation " و"الذكاء بدون سبب: Intelligence Without Reason ". كما كان أحد شعاراته في ذلك الوقت "أفضل نموذج للعالم يكمن في ذاته: The world is its own best model". فلماذا تبني نماذج متطورة من العالم في حين أنه يمكنك النظر إليه ببساطة؟ في النصف الثاني من الثمانينات بدأ بدراسة حركة الحشرات وبناء نماذج منها مثل الروبوت المتحرك المشهور ذو الستة أرجل المسمَّى جنغيز " Ghengis ".

لماذا اختار بروكس الحشرات كمثال لتحقيق مراده؟
لقد اختار هذه الحالة لأن قضية أطوار الذكاء أمر مذهل وأستغرقت وقتا طويلا لتشكيلها، حيث بدأت في الحالة غيرالعضوية ثم ظهرت في الحشرات وبعدها إنتقلت إلى البشر[17]. لذلك قرر بروكس أن نبدأ بدراسة الحشرات. وهو يرى أنه بمجرد فهم مستوى ذكاء الحشرة – سيكون من الأسهل والأسرع فهم وبناء مستوى ذكاء البشر. لأن تحقيق مستوى الذكاء الحشري في البداية سيكون أصعب بكثير من الانتقال من مستوى الذكاء الحشري إلى مستوى الذكاء البشري. لتقريب وجهة النظر هذه، نذكر باختصار تاريخ تطور الأرض. حيث نشأت كيانات الخلية الوحيدة البدائية منذ 3.5 بليون سنة تقريباً. ومرت بلايين السنين قبل ظهور النباتات التي تقوم بالبناء الضوئي. بعد ذلك ببليون ونصف سنة تقريباً – أي حوالي 550 مليون سنة تقريباً، ظهرت لأول مرة الأسماك والفقريات، وبعد ذلك بحوالي 100 مليون سنة ظهرت الحشرات. دعنا نقتبس مباشرة من نقاش بروكس: "ثم بعد ذلك بدأت الأشياء تتطور بسرعة. فظهرت الزواحف منذ 370 مليون سنة، تبعتها الديناصورات (منذ 330 مليون سنة) والثدييات (250 مليون سنة). ثم ظهرت أسلاف القرود الأولى قبل 120

مليون سنة تقريباً ثم تطورت سريعاً إلى (القرود الضخمة: apes) قبل 18 مليون سنة. وقد وصل الإنسان إلى شكله الحالي تقريباً قبل 2.5 مليون سنة ماضية. قام الإنسان بإبتكار الزراعة قبل 19.000 سنة، و الكتابة قبل أقل من 5.000 سنة، والخبرة المعرفية القائمة فقط خلال القليل من مئات السنين الماضية" (Brooks، 1990 م، ص5).

سبب هذا الاهتمام بدراسة الحشرات، توجه المواضيع البحثية المهمة نحو الحركة والمشي بصفة عامة. وهذا، بالطبع، يمثّل تغييراً أساسيا من دراسة الشطرنج و الإثبات النظري وحل المشكلات المجردة، فالعلاقة بين الاثنين ليست واضحة تماماً (وهو ما سنستفيض في شرحه لاحقاً). ومن المواضيع الأخرى التي بدأ الباحثون بدراستها: (توجيه السلوك orientation behavior) تحديد اتجاه الشخص في بيئات متغيرة أومعروفة بشكل جزئي، وهذا يتضمّن البحث عن "الغذاء" (المتمثل بأنواع محددة من الأجسام مثل الاسطوانات الصغيرة)؛ إعادة الغذاء إلى "المسكن" وهو سلوك يدعى (التسكين: homing) و بصفة عامة يهدف إلى استكشاف البيئة. وقد تم استثمار الكثير من الجهد أيضاً في دراسة السلوكيات الأولّية مثل تتبع

الحائط، التحرك نحو مصدر الضوء، وتجنّب العقبات. إنه لأمر ممتع حقاً وقد إنعكس على الباحثين في إستخدام مفرداتهم مثل البحث عن الغذاء، والتسكين، والعودة إلى المسكن، وغيره، مما يقترح بأنّ الروبوتات التى تم تطويرها في الواقع لها خصائص شبه – حيوانية. وتاريخ اسناد الصفات الحيّه إلى الأجسام غير المتحركة طويل في الذكاء الاصطناعي، حيث أن الباحثون منذ البدايات الأولى نسبوا خصائص شبه بشرية إلى الحاسبات أو برامج الحاسب ونعتوا الحاسبات بأنها ذكية وماهرة، وهكذا، فقد ادعوا بأن الحاسبات تفهم عندما تجيب على الأسئلة. فإعطاء صفات حيّه إلى الأجهزة والروبوتات وتشبيهها بالإنسان يبدوا أمرا جوهريا للبشر. وقد وصف هذه الحالة ديفيد ماكفارلاند (David McFarland عالم سلوك بجامعة أكسفورد ومخترع في مجال الحيوانات الروبوتية، بأنها مرض مزمن ليس له شفاء و أطلق عليه إسم: (الفخار[18]: و الفخار موجودا (Anthropomorphization. منذ قرون عديدة: فقط تأمل في عدد الحيوانات والأجسام التي تتحدث لغة الإنسان في القصص الخيالية أو في أفلام ديزني. لقد كانت وجهة نظر ماكفارلاند أنه يجب أن نحرص عند تعيين الخصائص البشرية إلى الحيوانات أو

الحاسبات أو الروبوتات ولابد من ملاحظة سلوكها، فمثلا عندما نقول بأنّ الحيوان "يريد" أن يأكل أو أن الروبوت "يرى" شخصاً، كيف نعرف أن الحيوان يريد شيئا ما وماذا نعني بالضبط عندما نقول ذلك. سنناقش هذه النقطة لاحقا.

في الوقت الحالي، أصبح منظور التجسيد يتطلب التعامل مع النظم الفيزيائية الفعلية، مثل الروبوتات، وتواجدها في الحياة الحقيقية الواقعية. وبالرغم من أن الحاسبات والروبوتات يشار إليها بعبارة واحدة، مما يقترح بأن النوعين متماثلين ولكنهما في الحقيقة مختلفان جداً: حيث أن المدخلات في الحاسبات تتم من خلال نقرات الفأرة أو ضربات على لوحة المفاتيح، ولأن ضربات لوحة المفاتيح متقطعة وبذلك فإنه على المستخدم أن يعد ما يريد إدخاله إلى الحاسوب للمعالجة بما يتطابق مع ماهو متوفر على لوحة المفاتيح المحدود. وبالمقابل فإن (الكائنات البيولوجية biological agents) - البشرية أو الحيوانية - لديها نظم استشعارية معقّدة تمدهم بالكثير من المحفزات المتغيرة وبشكل مستمر، وبذلك يكون لديهم معلومات وفيرة عن العالم الحقيقي الواقعي. ولكن العالم الحقيقي لا توجد عليه ملصقات تعريفية مفصلة لكل ما هو موجود في البيئة من أجسام

مما يجعل ترجمة محتويات البيئة على الروبوتات من خلال الإستشعارات أمرا في غاية التعقيد، بينما في حالة الحاسوب يقوم كل مستخدم بتحديد وتوصيف المدخلات الخاصة عند آداء كل مهمة. وهكذا فإن الروبوتات التي لا تعتمد في (autonomous :(الذاتية التحكم تشغيلها على أى شخص وبالتالي لايتحكم بأدائها الإنسان، لابد وأن تكون لها خاصية (التعلم الذاتي من أي أنها تتعلم من البيئة ذاتيا من .(situated :البيئة خلال أنظمتها الاستشعارية، وهذا ببساطة شيء لا تستطيع الحاسبات عمله. من ناحية أخرى تعتبر الحاسبات لطيفة ونظيفة ويمكن لأي شخص أن يفهمها، ويستعملها، ويبرمجها، كما أنه يمكن استخدامها بشكل جيد في المحاكاة. ولكن بناء الروبوتات يتطلب خبرة هندسية ليست موجودة عادة في مختبرات علم الحاسبات؛ إنه عمل غير منسق، ولابد من أن تتسخ فيه يديك لأنه يتطلب مجهوداً عملياً، وهذا شيء يكرهه الناس بقوة في عصر تقنية المعلومات.

بشكل عام، إن تفاعل نظام مجسّد مع العالم الحقيقي الواقعي دائماً غير محدد وصعب التعريف، وهناك العديد من القضايا التي يجب على الفرد أن يتعامل معها، مثل تحديد أنواع البيئات المغلقة والمفتوحة التى يمكن أن

يقوم فيها الروبوت بوظائفه (مثل: بيئات مكتبية، مصانع، في شوارع مدينة، في الأراضي الوعرة، وفي البيوت، وتحت الماء، وفي الهواء، وفي الفضاء الخارجي) وأنواع الإستشعارات التى يمكن استعمالها (مثل: آلات تصوير، مكبّرات صوت، إشارات تحت الحمراء، أشعة فوق سمعية، لمس)، وكذلك (المحرِّكات أو المُشغّلات: actuators) مثل: أيدي، أذرع، سيقان، أجنحة، زعانف، عجلات، أو ربما خطّافات أو مغناطيس)، وإمدادات الطاقة) وهي مشكلة صعبة جدا)، وكذلك المواد التي يجب أن يصنع منها الروبوت. ومما يزيد من تعقيد الوضع أن تفاعل الكائن مع البيئة يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار. هذا يعنى أنه لابد وأن نأخذ في الحسبان القوى والعوامل والمواد المعدنية والاحتكاكات التي سيتعرض لها الروبوت؛ كما أن البيئة تتغيّر بسرعة ويمكن توقّع التغيرات فقط في حدود ضيقة. ومن الواضح أن أغلب هذه الاعتبارات لا ترتبط عادة بفكرة الذكاء. وعندما نستعرض مبادىء التصميم للأنظمة الذكيةً في الجزء الثاني من هذا الكتاب سنحاول أن نستوفي كلّ اعتبارات التصميم التي يجب أن تؤخذ في الحسبان للأنظمة المجسّدة عند تفاعلها مع العالم الحقيقي الواقعي.

يمكننا القول إن طبيعة مجال الذكاء الاصطناعي قد تغيرت بشكل كبير عندما ظهر التجسيد في الصورة. فبينما كانت العلاقة بعلم النفس – وبالذات علم النفس الادراكي – ذات أهمية قصوى في الاتجاه التقليدي، فقد تحول الاهتمام على الأقل في بدايات نشوء حقل الذكاء التجسيدي إلى الأنظمة الحيوية غير البشرية مثل الحشرات والثعابين أوالفئران. أيضا في هذا الوقت بدأ مفهوم الذكاء الاصطناعي في التغير، أو بالأحرى صار يحوى معنيين: الأول يتضمن (قوفا GOFAI) أو المنهج اللوغاريتمي التقليدي، بينما الآخر يشير بشكل عام الى نموذج يهدف إلى فهم الأنظمة الحيوية واستخدام المعرفة لبناء أنظمة اصطناعية في ذات الوقت. ونتيجة لذلك بدأت نظرية التجسيد الحديثة وأنطلق الذكاء الإصطناعي من مختبرات علم الحاسبات إلى علم الهندسة والروبوتات ومختبرات علم الأحياء.

2.4 دور عِلْمِ خلايا الأعصاب الدماغية

ومن المهم أيضاً النظْر إلى دورَ عِلْمِ خلايا الأعصاب الدماغية ضمن سياق التغييرَ نحو منهج التجسيد. في السبعينات وأوائِل الثمانيناتِ، أدرك الباحثون في مجال الذكاء الاصطناعي مشاكلِ المنهج التقليدي لمعالجة الرموزِ، وبدأ البَحْث عن البدائلِ الأخرى. ويبدو أن

ُ

الشبكات العصبيةَ الاصطناعية قد قدمت حلاً. وبالرغم من وجود الشبكات العصبيةُ الاصطناعية منذ الخمسينات، إلا أنها ازدهرت في الثمانينات، في ذات الوقت الذي بدأ فيه الذكاء الاصطناعي يبحث عن مخرج مجدي من الأزمة الحقيقية التى وقع فيها. وبشكل عام، يمكننا تعريف (الشبكات العصبية الاصطناعية: artificial neural networks) أَو ببساطة الشبكات العصبية كما يسميها بعض الباحثين، بأنها نماذجَ تنفذ "عمليات حاسوبية على طريقة الدماغ: brain - style computation". والشبكات العصبية هي مجموعات من النماذج الإفتراضية للخلايا العصبية المتصلة بالعديد منْ الخلايا العصبيةِ الأخرى لتَشكيل طبقات من شبكاتِ كبيرةِ متصلة تَعملُ فيها جميع الخلايا المترابطة بصورة متوازية. وبالرغم من أن الالهام مبدئيا جاء من الدماغ، الا أن الشبكات العصبية ترتبط بنشاط الدماغ على المستوي النظري أو التجريدي وهي بذلك تهمل العديد من الخصائص الضرورية للخلايا العصبية الطبيعية والأدمغة. ولكن على الرغم مِن هذه التجريديات، فان اللوغاريتمات التي تعتمد على هذه الشبكات البسيطة أظهرت اداءاً رائعاً ويُمْكِنُ أَنْ تحقق نجاحا ملموسا على المستوى التطبيقي على الرغم من صعوبة طبيعة المهام

التى تستخدم فيها، ومثال على ذلك، التصنيف الأتوماتيكي الصعب لتمييز أنماط الأنسجة مِنْ خلال صور الأشعة السينيةِ كالتَقْرير المتعلق باحتواء جزء من النسيج على ورم سرطاني أم لا، أو فصل الحقائب التي تَحتوي على متفجراتَ بلاستيكيةَ من بقية الحقائب المحتوية على مواد غير خطرة في المطاراتِ. في الفصلِ الخامس سنقدم وصفا تفصيليا أكثر للشبكات العصبيةَ. ((انظر أيضاً مربع إطار التوضيح 5.1.

لقد أصبحت الشبكات العصبية الاصطناعية رائجةَ جداً في مجال عِلْمِ النفْس الإدراكيِ لعمل نماذج للعديد من الظواهر مثل التصنيفِ (والتمييز بين انواعِ مختلفةِ مِنْ الأجسامِ)، و بشكل عام الإستيعاب، وحتى في اكتساب اللغة (كيف يتعلم الأطفال إتقان اللغةِ)، وكذلك في الذاكرة. نتيجةَ لذلك ظهر مجال علمي جديد يدعى (عِلْمُ النفْس الاتصالي:connectionist psychology) (:مثال Ellis and ،اليس و هومفريز، 1999 م Humphreys). إن استعمال نماذج شبكات عصبيةِ مِن هذا النوعِ كَانَ بالَتأكيد خطوة في الاتجاه الصّحيح حيث أن لها خَصائص مرغوب فيها ومفيدة جدا، على سبيل المثال، تتميز بأن عملياتها تتم بصورة متوازية الى درجة هائلة مثل الأدمغة الطبيعية؛ مما يُمَكِّنها من التَّعلم: حيث

أنها تستطيع تحسين سلوكها بمرور الوقت، كما أنها تستطيع التعامل مع التشويش[19] وعند حدوث الأخطاء أو فشل المهمة فإن النظام يستطيع العمل حتى لو كانت البيانات المدخلة غير مترابطة ومشوهة أو توقفت بعض الخلايا العصبيةِ الاصطناعية عن العمل؛ كما أن لها القدرة على (التعميم[20]: generalization) بمعنى أنها قادرة على التعامل مع ما يستجد من حالات وإن لم يكن من ضمن ما تم تدريب الشبكة عليه مسبقاً، وبهذا فهي قادرة على العمل في أوضاع لم تصادفها الشبكة من قبل، طالما أن تلك الحالاتِ مشابهة لما تعلَّمَتْه من قبل. لكن المشكلة الرئيسية في هذا المنهج هو أن الشبكات العصبيةِ (غير مُجسدة: disembodied) في الغالب، مما يعني ان الشبكات تم تدريبها سابقا على بيانات تم إعدادها من قبلِ المصمم؛ وأن الشبكات العصبيةِ لَم تُجَمِّعْ بياناتَها الخاصةَ بها من واقع البيئة مستخدمةً جسداً الياً. وفيما عدا بعض الاستثناءات، فإن إستجابات التفاعل مع البيئة في الزمن الحقيقي لم يكن مطلوباً، وذلك لأن النماذج لم تكن متصلة بصورة مباشرة مع العالم الخارجي. فعلى وجه التحديد، لم يتم إستخدام الروبوتات في ذلك.

بالمقارنة، فإن الاتصال مع العالم الخارجي ضروري جداً في منهج التجسيد. وقد أدركَ باحثي الذكاء الاصطناعي بأنّ الأنظمةَ العصبيةَ الطبيعيةَ لها قدرات عالية في السَيْطَرَة على تفاعلِ الجسد المضيف لها مع العالم الحقيقي الواقعي، لذا وجد الباحثون انهم قد يَستفيدونَ أكثر إذا ما تم توجيه الإهتمام إلى التفاصيلِ الحيويةِ البيولوجية، وتم تَجديد الإهتمامات والرغبةَ لتقويةَ البحث في علم خلايا أعصاب الدماغ. وتختلف أنواع الشبكاتِ العصبية المستخدمة في علم النفْس عن تلك (الشبكة العصبية الإتصالية: connectionist network) المستخدمة في تطبيقات التجسيد حيث لابد و أَنْ تتعامل مع الأجسامِ الطبيعيةِ والزمن الحقيقي. ونتيجة لذلك، فإنه تم تطوير الشبكات العصبية الاصطناعية التى تعني بالخصائص الحيوية، كما بدأ باحثو الذكاء الاصطناعي بالتعاون عن كثب مع (علماء علم الأعصاب الحيوي: neurobiologists). و في ذات الوقت، ظهر جيل جديد من علماء الأعصاب، أطلق عليهم (علماء الخلايا العصبية الحاسوبية: Computational Neuroscientists)، و بين يوم وليلة تسارعت الجامعات إلى فتح أقسام جامعيةِ جديدة بأسماءِ متعددة مثل (عِلْمِ خلايا الأعصاب

الحاسوبيِ:Computational Neuroscience) أَو (معلوماتية الخلايا العصبيةِ: Neuro - informatics). وبدلاً مِنْ إجراء التجاربِ على الأدمغةِ الحقيقية إنكب الباحثون على تطوير نماذجَ محاكاة مُفصّلة إمّا مِنْ الخلايا العصبيةِ الفرديةِ أَو مِنْ مجموعاتِ مُتَخَصّصةِ من الخلايا العصبيةِ في الدماغ مثل المخيخِ الذي يلعب دورا رئيسيا في (التَحكم الحركي motor: control)، أو في الهيبوكامباس وهي منطقة يُعْتَقَد أنها مرتبطة Hippocampus)) بآداء وظائف الذاكرة، بالإضافة إلى مجموعة كبيرة من نماذجِ ذات علاقة بسماتِ (النظامِ البصريِ visual: system). وهذه فقط أمثلةَ قليلة؛ ولكن تعج أدبيات هذا المجال بالأمثلة العديدة. ولقد أصبح بعض الباحثين في عِلْمِ خلايا الأعصاب الحاسوبيِ مهتمِّين بقضايا مشابه بدأ بدراستها باحثو الذكاءَ الاصطناعي، ومثال على ذلك مواضيع: (التَّحرُّك locomotion) و(التصنيف: categorization) و(التناسق الحسي – الحركي: sensory - motor coordination). ومعظم هؤلاء لا يعد أبحاثه جزءا من دراسات الذكاء الاصطناعي بالرغم من أنَّ مواضيع بحثهم تتداخل وبشدة. ولا زالت أبحاث الخلايا العصبية الحاسوبية غير مركزة على

التجسيد. ولكننا أخيراً يمكننا القول، وإن كان التطوير البحثي منصبا على محور آخر، لقد بَدأَ المهندسونُ بالتَعَاوُن مَع عِلْمِاء خلايا الأعصاب لتوصيل الأجهزة الإلكترونية والأدوات الميكانيكية الكهربائية مباشرة إلى النسيجِ الخلوي العصبي)كما سنرى في الفصل الثامن عند مناقشة موضوع السايبورغ (cyborgs).

2.5 التنويع

تتنوع المجالات العلمية التى ساهمت في مغامرات إكتشافات الذكاء الاصطناعي المثيرة وتطبيقاته المفيدة: فقد كان بالطبع المنهج الكلاسيكي التقليدي تابعاً لعِلْمَ الحاسبات، و شارك عِلْم النفْس إلى درجة كبيرة، وعِلْم خلايا الدماغ العصبية بدرجة أقل. وبالرغمِ من حدوث تعاون وثيق جداً مع علم اللسانيات و(عِلْمِ اللسانيات الحاسوبيةِ: computational linguistics) بسبب الدراسات الهامة التي أسسهاِ اللغوي المعروف والناشطِ السياسيِ نعوم تشومسكي (Noam Chomsky) مِنْ MIT حول قواعد البنية النحوية، إلا أن هذه الدراسات كانت مضللة بعض الشيء. وأخيراً فقد كان هناك ارتباط وثيق جداً مع علم الفلسفةِ وهذا الإرتباط الأخير تضمن مجال (فلسفةِ العقلِ: philosophy of mind) وهو مجال يحاول استكشاف ألغاز النفس

الإنسانية، من ناحية التَفْكير، والذكاء، والعاطفة، والوعي الإدراكي. وقد كان هناك الكثير مِنْ التفاؤلِ فيِ بداية الأمر أن تؤدي مساهمات الحاسوب التشبيهية الى فَهْم جوهري علمي للعقلِ البشري، كما يوضح كتاب (ثورة الحاسب الالكتروني في الفلسفة:The Computer Revolution in Philosophy) المنشور عام (1978م) للفيلسوفِ البريطانيِ وباحث الذكاء الاصطناعي آرون سالومان(Aron Saloman) و لكن هذا لم يحدث حتى الآن للأسف.

ولقد تغيرت هذه الصورة تماما في مجال التجسيد. ومازال عِلْم الحاسبات والفلسفة جزءاً من اللعبةِ كَما في السابق، لكن الآن دخلت علوم أخرى إلى حيز علم الذكاء الاصطناعي وأصبحوا جزءاً من اللعبة مثل علوم الهندسة والروبوتات وعلم الاحياء و(الميكانيكا الحيوية: biomechanics) (وهو العلم الذي يدرس كيف تتحرك الحيوانات والناس)، وعلوم المادة وعلم خلايا أعصاب الدماغ، بينما تناقص تأثير عِلْم النفْس وعلم اللسانيات – وتغيرت مكانتهم على الأقل من كونهم أساس لهذا العلم. لذا نَرى تغييرا جذريا في محور الاهتمام مِنْ (المعالجات العالية المستوى: high - level processes) التي دَرستْ في عِلْمِ النفْس وعِلْمِ

اللسانيات) إلى) المعالجات الحسية الحركية المنخفضة المستوى - low - level sensory - motor processes). وحاليا عاد دخول عِلْم النفْس، وخصوصاً (عِلْم النفْس التطويري :developmental psychology) في اللعبة ضمن سياق (عِلْم الروبوتات التطورية :developmental robotics)، حيث أن الهدف الأساسي من هذا العلم هو تقليد عمليات تطوير الإنسان منذ طفولته وهو رضيع إلى أن يصبح بالغا ذو قدرات مهارية وإدراكية في صناعة الروبوتات.

كما ذكرنا سابقا، فعلى الرغم من أن الكثير من الإنجازات في عِلْم الروبوتات تمت في السَنَواتِ الأولى للذكاء الاصطناعي، إلا أن عِلْم الروبوتات في ذلك الوقت لَعبَ دورا هامشيا فقط، ومن أهم النماذج على ذلك، الروبوت المشهور شيكي (Shakey) الذى اكتسب إسمه من طريقِة سيره المترددة أثناء تحركه بمفرده، والجدير بالذكر أنه تم بناء شيكي في معهدِ ستانفورد للأبحاث في ألتوبولو (Palo Alto). في كاليفورنيا. علاوة على ذلك، وبالرغم من أن شيكي كَانَ حقا روبوتا فيزيائيا يتحرك في العالم الحقيقي الواقعي، فقد كان التركيز الأساسي في بناءه على طريقة معالجاته الداخلية؛

أى على طبيعة العمليات الحسابية التي يجب عليه اجراؤها ليتحرك ويبحث في العالم الحقيقي الواقعي. ومن هذا المنطلق فعلى الرغم من أن شيكي كان له جسدً إلا أنه كَانَ حاسوبيَاً جداً وبالتالي متوافقا مع النموذج الكلاسيكيِ التقليدي للذكاء الإصطناعي. ولذلك يمكنه العمل فقط في بيئات ثابتة وبسيطة مصممة بشكل عقلاني مناسب. وكالعادة فإلانتقاد دائما سهلً ومحبطً في بعضِ الأحيان، ولكن هذا لا يجب أن يقلل باي حال من قيمةَ "شيكي" ومساهمته في تطويرِ الذكاء الاصطناعي. وقد تم اختياره مؤخرا لإضافته إلى (صالة الشهرة للروبوتات في مؤسسةِ كرنيج ميلُن:(Robot Hall of Fame of the Carengie - Mellon Foundation، التي تعرض بها أهم الروبوتات التاريخية الأخرى. كما توجد في الصالة روبوتات فائزة أخرى مثل هال (Hal) 9000 من فيلم ستانلي كوربريك (kubrick`s (Stanly في عام 2001 م المسمى (ملحمة الفضاء: A Space Odyssey)، (وزائر مارس: The Mars Sojourner)، وروبوت (هوندا أسيمو: Honda's Asimo)، و روبوت C3PO (من حرب النجوم: Star Wars)، والروبوت استروبوي (Astroboy) – ويدعى تيتسوان (Tetsuwan) أو

وهو – (Iron Arm Atom: الذراع الحديدي الذري) إسم بطل سلسلة كوميدية كانت ناجحة جدا في اليابان في خمسينات القرن العشرين وقد ألهم الكثير من الباحثين وذوي الرؤى في اليابان الذين صمموا وبنوا العديد من الروبوتات في كثير من المؤسسات المشهورة ذات السمعة الطيبة. ويعد استروبي الأب الروحي لحركة روبوتات الذكاء المعاصرة في اليابان.

ومع تنوع المجالات الدراسية، تغيرت تبعا لها المصطلحات المستخدمة لوصف المجالات البحثية: فباحثوا التجسيد لم يعودوا يشيرون لأنفسهم كباحثين في الذكاء الاصطناعي ولكن كعلماء متخصصين في الروبوتات، و(هندسة الأنظمة المتكيفة: engineering of adaptive systems)، و(التكيف، الحياة الاصطناعية: Artificial life) أو(الأنظمة، الحركي: Adaptive locomotion) بيولوجيا أو حيويا الملهمة: bio - inspired systems). والأكثر من ذلك، لم يكتف باحثو الذكاء الاصطناعي بالإنتقال الى التخصصات القريبة، ولكن حفزوا العلماء الذين تعود أصولهم إلى هذه المجالات الأخرى، أن يلعبون دوراَ مهماَ في دراسة الذكاء. وأحد هذه الأمثلة هو حال الباحثين في مجال (علم الخلايا

الحاسوبي العصبية:computational neuroscience) فهم لا يعتبرون أنفسهم جزءا من مجال الذكاء الاصطناعي. وهكذا فإن مجال الذكاء الاصطناعي قد اتسع بصورة كبيرة من ناحية وأصبحت حدوده غير محددة وواضحة أكثر من ذي قبل.

والآن نستطيع القول بأنه لدينا إجابة جزئية على السؤال لماذا لا توجد لدينا عينة تمثل الأبحاث التي أنجزت في (علم الذكاء الاصطناعي الحديث: modern) artificial intelligence وعندما نكتب الذكاء الاصطناعي المجسد في محرك البحث. والسبب يعود إلى انقسام وتعدد المجتمعات العلمية، فإن الباحثين في مجال (الذكاء المجسد:embodied intelligence) بدؤا في حضور نوع أخر من المؤتمرات التى لم تكن محصورة فقط على الذكاء الاصطناعي، كما توضح أسماء هذه المؤتمرات: "الأنظمة الذكية الذاتية التحكم: Intelligent Autonomous Systems "، "محاكاة السلوك المتكيف: Simulation of Adaptive Behavior" – "من الحيوانية إلي الحياتية: From Animals to Animates"، "المؤتمر الدولي حول الأنظمة والروبوتات الذكية: International Conference on

Intelligent Robotics and Systems"، "Adaptive :التكيف الحركي في الحيوانات والآلآت" Motion in Animal and Machines، "مؤتمر "Artifical Life :الحياة الاصطناعية Conference، "التطورية :الروبوتات "Evolutionary robots، " المؤتمر العالمي حول "International Joint :الشبكات العصبية Conference on Neural Networks وهو أحد المؤتمرات في هذا المجال، "المؤتمر الطوري و "The Genetic and :الجيني الحاسوبي Evolutionary Computational، Conference، وهناك العديد من المؤتمرات الأخرى) (artificial :كرست لدراسة (الأطوار الإصطناعية evolution و هو مصطلح سوف نكشف عنه النقاب في الفصل السادس، أو بعض المؤتمرات التى أقامتها في .(IEEE: (منظمة الهندسة الكهربائية والالكترونية أن](Rolf) بداية التسعينات، وعندما حاولت أنا]رولف أقنع الناس في مؤتمر الذكاء الاصطناعي أن التجسيد ليس فقط مهم و لكنه جوهري للذكاء، وإننا لن نستطيع حل لغز أعلى مستويات الذكاء اذا لم نفهم التجسيد، كانت ردات الفعل معظمها سلبية، ولم تكن هناك أي حوارات أو

مناقشات حول الفكرة. ولهذا اتجهت أنا وزملائي إلى مؤتمرات أخرى حيث كان الناس متقبلون فيها لفكرة التجسيد. مؤخراً وبسبب التخاذل في التعامل مع المشكلات الكبرى في مجال الذكاء الاصطناعي التقليدي والمختلفة عن طبيعة الذكاء، بدأ الاهتمام بموضوع التجسيد. و بدأت معظم مؤتمرات الذكاء الاصطناعي في استضافة ورش العمل والقضايا المرتبطة بالتجسيد. ولكن بقي العديد من المشاركين في مجتمعات الذكاء الاصطناعي التقليدي ونظرية التجسيد للذكاء منفصلين، ويبدوا أنهم سيبقوا كذلك لفترة ليست بالقصيرة.

2.6 علم الروبوتات الحيوية

أنتج التنوع في مجالات الذكاء الإصطناعي العديد من التطورات والتوجهات الهامة. وقد تم ذكر أحدها بالفعل، وهو الانتقال من دراسة ذكاء الإنسان والتوجه أكثر نحو دراسة: (الذكاء شبه - الحيواني animal - like intelligence) ذلك لأن المحاولات التي بذلت للتوصل إلى مستوى الذكاء الانساني لم تكلل بالنجاح. أحد هذه التطورات هو ظهور مجالات أخرى ضمن علم الروبوتات الحيوي: منها: (عِلْم الروبوت التطويري developmental robotics)، الحاسبات المتطورة: مثل (حاسبات كل مكان ubiquitous

الحياة الاصطناعية، أو تكنولوجيا ،(computing
الواجهة الإلكترونية ونظم الكائنات المتعددة المهام.
وسوف نلقي نظرة سريعة ومختصرة على كل هذه
المجالات المختلفةِ خلال فصول هذا الكتاب.

لنَبْدأ بعلم الروبوتات الحيوي، وهو فرع من علم
الروبوت يركز على بِناء الروبوتات التي تحاكي سلوكَيات
جهاز عضوي معين في المخلوقات الحية البيلوجية.
وأكثر الأمثلة وضوحا هي ما قدم من قبل عالمِ الرياضيات
المهندسِ ديمتري لامبرينوس (Dimitri
Lambrinos) أثناء عمله في مختبرِ الذكاء
الاصطناعي في جامعةِ زيوريخ (Zurich). والذي بَدأَ
التَعَاون مَعِ الرائد العالميِ في أبحاث حياة النمل (ريودجر
وينر: (Ruediger Wehner، من جامعةِ زيورخ
أيضا. وقد تعاون المختبران في بناء سلسلة من
الروبوتات، تدعى سلسلة (ساها بوت (sahabot -:
ويرمز هذا الاسم إلى (روبوت الصحراء sahara:
robot). ويقلد (ساها بوت sahabot: سلوك لـ
(نملةِ الصحراء ant Cataglyphis): في الملاحةِ
على الأمد الطويلِ والقصير، وهي حيوان غير عادي
يعيش في مساحةَ مالحةِ جداً في بيئة مسطحة جدا
ورملية في جنوب تونس. إحدى هذه التحديات هي إيجاد

البراهين للتأكد من وجود ميكانيكية ملاحيةِ تَوضح كيفية تحرك هذا الحيوانِ كما اقترحها علماء الأحياء. وبمعنى آخر، من حيث المبدأ، فقد كان الهدف من ذلك هو إظهار القدرة الميكانيكية لنملة الصحراء عند تطبيق حركاتها على الروبوت المماثل لها في إنتاج سلوك توجيهي يحاكي سلوك نملة الصحراء الحقيقية. كما يلاحظ بِأَن هذا السلوك الناتج لا يعني أن العمليات الداخلية التي تحدث في النملة الحقيقة مشابهه أو مطابقة لتلك التى يستخدمها الروبوت.

إحدى هذه الميكانيكيات البسيطة جدا تدعى نموذج اللقطة الفوتوغرافية (snapshot model:)، وقد قُدِم أصل مبدئها كمسلمة مِن قِبل عالمِ الأحياء البريطانيِ المتخصص في علم الحشرةِ توم كوللت (Tom Collett) من جامعةِ سوسكس (Sussex University) (1983 م، كارترايت و كوللت، Cartright and Collett) الذي عَمِل مع وينر (Wehner) لسَنَوات عديدة. وبناء على شرح كوللت، فإن نموذج اللقطةَ الفوتوغرافية مستعمل من قبل النملةِ - وحشرات أخرى – عند الملاحةِ الدقيقةِ قصيرة المدى لإيجاد المسكن أثناء عودة النملة من رحلة بحثها

:عن الغذاءِ - وهذه العملية تعرف بـ (العلَف (Foraging في عِلمِ الأحياء.

ويفترض هذا النموذج أنه بينما تَترك النملة مسكنها، الذي هو عبارة عن فَتحة في الأرضِ، فإنها تأخذ لموقعِ المسكن لقطة فوتوغرافية، كما تبدو مِن الأفق، ثم تخزنَ اللقطة في دماغِ النملةَ (التى تتمتع برؤية شامله من جميع الاتجاهات، فعلى سبيل المثال، يستطيع النمل رؤية جميع ما حوله وليس فقط ما هو أمامة، على خلاف البشر). ثم تَخرج النملة بعد ذلك في رحلة العلف للبحث عن قوتها، وتذهب أحياناً على بعد ما يقارب المائتي مترعن المسكن، وتَعود إلى الجوار حيث المسكن مستخدمة نظام آخر للملاحة، مبني على تقدير المسافة مِن المسكن وعلى الضوء المستَقطب من نورِ الشمس. يمد نور الشمس المستَقطب النملة بمعلومات الإتجاه ويمكن أَن يستَعمل كنوعِ مِنْ أنواع البوصلة. وهذا النظامِ يتناسب على وجِه الخصوص مع الملاحةِ طويلة المدى، ولكن لأن أنظمةَ الملاحةِ طويلة المدى غالبا ما تخطئ، لذا وجِب على النملة أَن تَستخدم نظام الملاحة قصير الأمد – ذو اللقطة الفوتوغرافية – لإيجاد الموقعِ المضبوط للمسكن. وفي نظامِ الملاحةِ الطويلِ الأجل، فَإن النملة تتلقى إشارة على أنها بالقرب من المسكن عندئذ يتولى

النظامِ الآخر المستخدم في المدى القصير مهمة إيجاد الموقعِ. ومن ثم يتم توجيه النملة إلى مدخلِ المسكن بإستخدام نموذج اللقطة الفوتوغرافية. هذا النموذج، الذي حقّق مئاتِ التجارب حرفيا وبدون مبالغة مع النملِ الحقيقيِ (أنظر، وينر وآخرون، 1996 م) و أيضا حققِ نجاحا رائعا عندما اختبر على الروبوتات في ذات البيئةِ التى يعيش فيها النمل، في الصحراءِ الكبرى شمال أفريقيا. وبينما هذا لا يُشيرُ ضمناً إلى أنَّ النموذجَ الذي استعمل على الروبوت هو ذاته الذي استخدم بواسطة النملِ الحقيقي، ولكنه أثبت أن مثل هذه الميكانيكية يمْكِن أَن تَعمل من حيث المبدأ. كما طوراَ لامبرينوس (Lambrinos)، وزميلِه رالف مولر (Ralf MÖller) نموذج ملاحة (تنقيب) آخر يسمى: (نموذج الموجه الناقَل المتوسط: average landmark vector model) (لامبرينوس وآخرون، 2000 م)، والذي يعد أسهل مِن نموذجِ اللقطة الفوتوغرافية. الا أن كلا النموذجين يمكن أن يستَعملا للتنبؤ عن سلوكِ الحيوانات في حالات محددة والتي يمكِن أن تجرب في كلا الحالتين على الروبوتات وعلى النملِ الحقيقيِ.

والملاحظ في نظام الملاحة هذا، أن الكائنات – سواء كانت النملة أو الروبوت – ليست بحاجة إلى خريطة

البيئة لكي تتم عمليةِ التنقيب بنجاح. بمعنى آخر، أن الروبوت لَيسَ بِحاجةٍ إلى نموذج العالم الحقيقي لكي يتصرف بنجاح، بالرغم من أن النملة لا تَستطيع رؤية المسكن عن بعد! ويعد هذا تناقضا مع الفرضيةِ القياسيةِ التي تنص على أن المعلوماتَ البيئيةَ الدقيقة أساسية ومطلوبة في الخرائط لمثل هذا النوعِ مِن التنقيب. إن "النموذج" الوحيد المستخدم من العالمِ الحقيقي الواقعي هو الذي يشمل على تقدير المسافةِ للاتجاه إلى المسكن في النظامِ الطويل المدى، واللقطة الفوتوغرافية في النظامِ القصير الأمد.

ولكي نشرح مدى خصوبة هذا المجال، نقدم مختارات أخرى من مشاريع علم الروبوت الحيوي الناجحة: الروبوت الطائر الشبيه بالحشرة (مايكي وشيموياما: Miki Shimoyana)، 1999م وروبوت الفراشة ودودة القز ذات الإستشعارات الدقيقة (كوانا وآخرون، Kuwana et al.)، 1999م الذي طوره المهندس المستقبلي إيزاو شيموياما (Isao Shimoyama) من جامعة طوكيو (University of Tokyo)؛ و الروبوت الذي على شكل الثعبان الحقيقي الذي طوره شيجو هيروس (Shigeo Hirose) من معهد طوكيو للتكنولوجيا (Tokyo Institute of

Technology) (هيروس، 1993 م، Hirose)؛ وعمل (بربرا ويب Barbara Webb) في جامعة ادنبره باسكتلنده (The University of Edinburgh in Scotland) على السلوك الصوتي لصرصور الليل؛ ويدور حول كيفية إنجذاب الذكور تجاه صوت الإناث في بيئتهم المعقدة، الخشنة والضوضائية (ويب، 1996 م، Webb)؛ وكذلك الروبوت تونا (Tuna) الذي تم تطويره في معمل الهندسة البحري بإم آى تي (MIT) بواسطة ميشيل تراينتافايلو (Michael Triantafyllou)، و أيضا مشروع جوزيف آيرز (Joseph Ayers) في روبوت الاستاكوزا و سمك الجلكي (آيرز: 2004م، Ayers) في الجامعةِ الشمالية الشرقيةِ في بوسطن؛ كما عمل اكيو جيسبيرت (Auke Jispeert's) على روبوت السمندر في معهد التكنولوجيا الاتحادي السويسريِ في لوزان، سويسرا (جيسبيرت، 2001 م، Jispeert)؛ وأيضا روبوت الفأر الاصطناعي الذي طُوّرَ في جامعةِ زيوريخ لتَحري دور شوارب الفأر في سلوكِ القارضِ (ومثال على ذلك: فيند وآخرون، 2003 م، Fend et al.)؛ وبحث فرانك كريشر (Frank Kirchner's) على روبوتات العقاربِ (كلاسين و آخرون، 2003 م، Klaassen et al.).

وهناك العديد مِنْ الأمثلةِ الأخرى للروبوتات الحيوية، والتي كانت جميعها ناجحة ومنتجة ومثمرة بحثياً، وقد ساهمت هذه الروبوتات بشكل ملحوظ في فهمنا لسلوكِ التوجيهَ والحركَة وبالنسبة إلى مجموعة الصُحُفِ الوثيقة الصلةِ بالموضوع نرى، على سبيل المثال، (وَيب وكونسي، Webb and Consi)، 2001م أَو في مجلدات الحركةِ التكيفيةِ في مؤتمرِ (اللاآلآت والحيواناتَ: Animals and Machines)، ومثال ذلك كيمورا وآخرون، Kimura et al.). 2006م والقائمة يمكن أَن تستَمر تقريباً بشكل غير محدد. وهكذا أصبحت مواضيع التحريك والتوجيه مهمةِ للبحث في مجال الذكاء الاصطناعي.

2.7 علم الروبوتات المتطورة

مازال البحث في علم الروبوتات الحيوية يحظى بالاهتمام و الانتشار في كافة أنحاء ومختبراتِ البحثِ حول العالم. وفي منتصف التسعيناتِ تقريبا إدعى بروكس، الذي كان أحد الذين بدؤا حركةِ صنع الروبوتات الحيوية، بأننا أنجزنَا الآن)ذكاء على مستوى حشرةِ: insect - level intelligence) في الروبوتات ويجب أَن نتقدم بثقة للأمام نحو حدودِ وأنواع جديدةِ من الذكاء. حقا، إن ثلاثة من روبوتات بروكس المعروفة

جنغيز (Ghengis)، ايتلا(Attila) باسم وهانيبال(Hannibal)، قدمت أداءا ذات الستة أرجلِ رائعا أثناء التحركَ والمشي على الأرضِ غير المستويةِ و تجنب العقبات. ولكن ماذا يقَصد بروكس عندما قال بأننا أنجزنَا الآن ذكاء على مستوى حشرةِ؟ فالحشرات الحقيقية يمكنها عمل أكثر من روبوتات بروكس الحشرية، فعلى سبيل المثال الحشرات الحقيقية يمكِنها أَن تستعمل سيقانِها وأفواهِها عندما تتعامل مع الأجسام لتحريكها، كما يُمْكِنُها أيضا توجيه نفسها في طرقِ متطوّرةِ في البيئات المختلفةِ (بما في ذلك الصحراءِ!)، كما أن باستطاعتها أَنْ تبني مساكن ذات أنماط معقدة، ولديها هياكل اجتماعية منظمة على أعلى المستويات، ولهم القدرة على التناسل و تهتم بنسلها. والعديد مِنْ هذه القدراتِ، على سبيل المثال التناسل أَو التنظيمات الاجتماعية المركبة، أبعد ما يكون عن الإدراك أو التحقيق بصورة متكاملة في الأنظمةِ الروبوتية. لذا، فإنه ما زالت أمامنا الكثير من البحوث التي لابد من إجرائها قَبْلَ أَنْ ننجز مستوى ذكاء حقيقي في الحشرة.

لكن وعلى الرغم من أن مستوى ذكاء الحشرات ساحر في واقعه، إلا أن مستوى ذكاء الإنسان أكثر إثارة وسحر؛ لذا من الواضح أنه بعد سَنَواتِ عديدة مِنْ البحثِ

والتدقيق في مستوى ذكاء الحشرةِ، فإن بروكس والعديد مِنْ الباحثين الآخرين أرادوا أَن يقدموا إنجازات أكثر إثارة. وقد بدا هذا واضحا وأن هذا هو الزمن المناسب للتطرق إلى تحدي أكبر: وهو الإنسان. وهكذا فقد عدنا إلى أهداف الذكاء الاصطناعي التقليدي، ولكن الآن يمكِن أَن نتطرق إليها بخبرة علم الروبوتات الحيوي. ومن خلال الكتاب سوف نعرض العديد من الأمثلة التى أكسبتنا الهام في كيفية تغيير تفكيرنا بشأن الذكاء. وبينما أمسى موضوع الروبوتات شبه البشرية في اليابان موضوعا بحثِيا لعدّة سَنَوات، لم تكن هذه النوعية من النشاطات البحثية تتعلق مباشرة بالذكاء الاصطناعي. وهذا يَبْدو السببَ وراء تأثر المجتمع البحثي بقوة عندما تحرك بروكس نحو البحث في الروبوتات شبه البشرية. و بالرغم من أن البحث في هذا المجال كان ولايزال يعتبر بدائيا وتدور حوله العديد من الشكوك، فإن العديد مِن الباحثين في مجال الذكاء الاصطناعي يعتقدونَ أن الوصول إلى مرحلة الذكاء الإنساني في الروبوتات ما زال حلما بعيد المنال. وعلى الرغم من هذا، ففي أوائل التسعينات بدأَ بروكس مشروع (كوج Cog) :لتطوير روبوت شبه بشري يهدفِ للوصول في نهاية المطاف إلى

مستوى الإدراك العالي كما هو لدى الإنسان (بروكس و ستين، Brooks and Stein). ،1994م

يستعمل مصطلح (الروبوت شبه البشري: humanoid robot) للدلالة على الروبوتات التي لديها ذراعان وساقان نموذجيان، وجذع ورأس متحرّك مجهز بنظام رؤيةٍ، وأحيانا يضاف اليه وسائل حسّية إستشعارية مثل السمع واللمسِ. ويطلق عليهم مسمّى الروبوتات شبه البشرية لأن هناك تشابه ظاهري بصري في أشكالها مع البشر. وبسبب الشبه الموجود في هيئة مجسماتها، أصبح لدى الناس نزعة قوية إلى تشبيه الملكات والخصائص الإنسانية بهذا النوع من الروبوتات. ولكن إحرص على تذكر ما أشار اليه ديفيد ماكفيرلاند (David McFarland's)، حول موضوع الفخار وتشبيه هيئة الروبوت بالإنسان وأنه بمثابة مرض مزمن لايمكن شفاءه. و أيضاً بَعْض أفلام الخيال العلمي يمكِن أَنْ تضللنا بشأن إقتراح الصفات والخواص الإنسانية في الروبوتات. وروبوتات هوليود (Hollywood robots) تعتبر نموذجا متقدما جداً لمستوى ذكاء عالي. وبعض هذه النماذج مؤذ ويرغب في استعباد البشرية، ولقد إنعكس ذلك سلبا على علم الروبوتات في الوضع الحالي وسبب خوفا غير مبرر كليّاً. (وبالطبع،

فليس من الضروري أن ننتظر روبوتات ذكية جدا تقتل البشر ليتم إستعبادنا من طرف الآلات– نحن تقريباً أو كليَّاً معتمدون على سياراتِنا، وحاسباتنا، وهواتفنا الجوَّالة، ونحن نَعمَلُ العديد مِنْ الأشياءِ فقط لإرضاء وإسعاد مكائننا، وليس بالضرورة لأننا نريد ذلك. وأكثر الحالات إشتهارا وتعتبر مثالا جيّدا هي (مشكلة عام الفين: (Y2K problem، عندما أنفقت الشركات والحكومات في جميع أنحاء العالم بلايينَ الدولاراتِ لكي تتغلب على هذه المشكلة. لقد أُجبرنا لعَمَل ذلك لحواسبنا: وهو بالتأكيد ليس فعلَ الإرادة الحرّةِ. و السؤالَ الوحيدَ هوهل سنضيف النوايا الشريرة لحواسبنا؛ ولكن هذا سؤال فلسفي – والمسألة جدلية – و لَيست تجريبية. والسؤال المنطقي الذى يمكن أن يخضع لتجارب هو الذي يمكِن أَن يبتَكر لتأييد أو تكذيب هذه الفرضية، وهذا السؤالِ هو – هل الآلآت شرّ على البشرية ؟ لعل ذلك ليسَ محتملاً.

لكن عودة إلى مشروعَ كوج السابق ذكره. و كوج يهتم بالقدرة الإدراكية والحركية لتوجيه التروس المسننة الداخلية للعجلة، ويشير إلى أنّ الإدراكِ أَو الذكاء، هو بالفعل مبني على العديد مِنْ – العمليات – وتوجيه التروس التى تعمل سويا. ولعل العديد مِنْ الباحثين

والمهتمين بهذا المشروع جُذِبوا تجاه فكرةِ الإنتقال نحو مستوى الذكاء الإنساني، وهي التي كَانتْ ومازالت هدفَ الذكاء الاصطناعي بنوعيه الكلاسيكي التقليدي والتجسيدي. وخلال هذا الوقت، ظهر مجال جديد يعرف بإسمِ (عِلْم الروبات التطويرية :.(Developmental robotics ولقد تمِ عقد العديد من المؤتمرات الوثيقة الصلة بالموضوع تحت العديد مِنْ المسميات: "السلوك غير المبرمج وتطوير الإدراكِ التجسيدي: Emergence and Development of Embodied Cognition" في" عِلْم الروبوت التخليق المتعاقب: Epigenetic Robotics"، عِلْم الروبوت التطويري، "تطوير الإدراكِ التجسيديِ" :Development of Embodied Cognition، الروبوت شبه البشري، "وغيره. هذا كَانَ، بالطبعِ،" تغيير مبهج في الاتجاه لأولئك الذين أصيبوا بخيبة أمل من التحول الذي قد أَخذَهُ المجال - فالحشراتَ ببساطة لَيستْ مثيرة للغريزة كالبشرِ! كما أن الذكاء الإنساني هو أكثر أنواع الذكاء التي نعرفها سحرا. لكن مرةً أخرى، هذه السلسلة مِنْ المؤتمراتِ منفصلة عن المؤتمرات التقليديةِ في الذكاء الاصطناعي، وبالرغمِ من أن مصطلحي "التجسيد والسلوك غير المبرمج " قَدْ يَظْهرانِ

في المنشوراتِ الوثيقة الصلةِ، ولكن "الذكاء الاصطناعي التجسيدي" في أغلب الأحيان مختلف عن ذلك.
في هذه الأثناء، إشتهر عِلْم الروبوت التطويريَ في المجتمعات الهندسية والبحثية الجديرة بإعتباره تخصصا منفصلا. وبدأ العديد من الناسِ في هذا الحقلِ بتَطوير الروبوتات شبه البشرية، وفي اليابان، على سبيلِ المثال، أصبح للبحث في هذا التخصص ضجيج فعلي. في عام 1998م دشنت وزارة الاقتصاد، والتجارة، والصناعة في اليابان برنامج مدته (إم إي تي آي :METI) القوية خمسة سَنَوات لبناء روبوتات شبه بشرية عرف بإسم "برنامج الروبوتات شبه البشرية وإختصاره)إتش آر بي)HRP:. ولقد ترأس البرنامج رجل يابانيِ ذو قدر كبير ورائدا في عِلْم الروبوتات منذ عام 1960م يدعى هيروشيما اينيو (Hirochika Inoue)، الذى كان أستاذ الهندسة في جامعةِ طوكيو. وقد كَانَ الهدفُ الطويل المدى لبرنامج (إتش آر بي) هو تطوير روبوت بمثابة رفيق للبشرِ، للمسنِين على وجه الخصوص، يمْكِنه السيطرَة وتنظيم العديد مِنْ الأعمال المنزلية، و بهذا يتم تَزويد المسنين بالإستقلال والإعتماد الذاتي لأطول فترة ممكنة. وهذا العمل يُوحّدُ مسعى الباحثين في تخصصات مختلفة ميكانيكيةِ، هندسة إلكترونيةِ، روبوتات، ذكاء

اصطناعي، وعلم نفس تطويري، وعلم خلايا عصبية دماغية تطويري، ومعظم هؤلاء الباحثين من المحتمل أن لا يَعترضَوا على أنْ يَكُونَ العمل مصنف تحت علم الذكاء الاصطناعي. ولكن هذا المجال قد اكتسب زخما كبيرا ليس فقط في اليابان وإنما أيضا في أوروبا، كما تبنى الإتحاد الأوربي عدد مِن المشاريعِ الكبيرةِ في المجال، مثل (روبوكب: RoboCub) - إختصار ل (تقنية البناء المفتوحةِ المصدر للإدراكِ، والفَهم، والسلوك: Robotic Open - architecture Technology for Cognition Understanding, and Behavior) وهذه يجب أَن لا يتم إدراجها بالخطأ بالمسابقة المعروفة والتى يلعب بها فريق (روبوكب: RoboCup) [21] من الروبوتات كرة القدم)، و(كوجني أيرون: Cogniron، (الرفيق الروبوتي الإدراكي: Cognitive Robot Companion). وسَنُناقشُ بتفصيلِ أكثر المواضيعِ التى تم التطرق اليها في هذا المجال المثير لمعالجة قضايا كانت بمثابة تحدي في بدايتها عندما نباشر عرض فكرة بناء ذكاء ذا مستوى عالي من خلال منهج المعالجة المعروف (من الأسفل للأعلى: from the bottom up) (فصل 5)، وعندما

نبحث في التقنيةِ الروبوتية في الحياة اليومية (فصل 11).

ولعله من – حسن الحظ – الإشارة إلى أنه لم يتجه جميع علماء الذكاء الإصطناعي الى دراسة الروبوتات شبه البشرية أو إلى علم تطوير الروبوتات لأن هناك عدد كبير من مواضيع البحثِ الخلاَّقة التي يمكن تناولها في السلوكِ الحيوانيِ. كما يبدو أن علم الروبوتات الحيوية سيكون مفيدا جدا في تقدم هذا المجال.

2.8 حاسبات كل مكان و تكنولوجيا الواجهة الإلكترونية

الجانب الآخر للتطويرِ الذي لا يَجِبُ تجاهله هو و (ubiquitous computing :(حاسبات كل مكان interfacing :(تكنولوجيا الواجهة الإلكترونية technology). وسنناقش حاسبات كل مكان بالتفصيل في الفصلِ الثامن. أما هنا فسنتطرق فقط الى ما هو مطلوب لتغطية مسح المجال البحثي في الذكاء الاصطناعي.

مَر عِلْم الحاسبات بشكل عام بتغيرات كبيرةِ مثل علم الذكاء الإصطناعي وذلك في المجالات الاساسية لعلم الحاسبات – والتى منها هندسة البرامج، التطوير اللوغاريتمي، نظم التشغيل، والآلآت الافتراضية – وهي

مواضيعَ نَفْهمها بصورة نسبية جيدا الان. لذا بَدأَ الناس بنَقل اهتمامهم الى المجالات الأخرى الأكثر صعوبةً، مثل كيف يمكِن للحاسبات أَن تَتفاعلَ مع العالم الحقيقي الواقعي بعيدا عن لوحة المفاتيح و الفأرة. إن التفاعل البدائي جداً بين الحاسبات و البشرِ، وبصورة أعم مع العالم الخارجي، كان لعدّة سَنَوات أحد الحقائقِ المهمة التي يشار اليها بالبنان في تقنيةِ الحاسبات. وهناك نشاط بحثي ملموس في موضوع التفاعل بين الإنسان والحاسبات بهدف تحسين هذا الوضع. ولعل أحد الوسائل المهمة للرقي بأسلوب التفاعل مع البيئةيتم بالطبع من خلال زيادة وسائل الاستشعار وإستخدام أدوات ادخال او اخراج اكثر ابداعا بالحاسبات: مثل مكبّراتِ الصوت، وآلات التصوير، وإستشعارات اللمس الحسية. ولكن تفاعلَ الحاسبات مَع البشرِ لابد أن لا يبقى مركزالإهتمام الأوحد. و بدلاً مِنْ كون الحاسبات الحالية "صناديق" أَو أدوات منفصلة عن بقيّة العالمِ فمن الافضل أن تدمج تقنيةِ الحاسبات بالعالمِ من حولنا حتى يتمكن البشر من الَتفاعلَ بيسرمع الحاسب بحيث يتم التعامل مع الحاسبات دون الضغط على لوحة المفاتيح. باختصار، يجب أن تصبح أجهزة الحاسبات غير مرئية للأنظار وبعبارة أخرى، يجب أن تصبح هذه التقنية "مختفية".

لقد كانت الفكرة الأصلية، كخطوة أولى، ببساطة وضع وسائل الاستشعار في كل مكان: في الغُرَفِ، والسيارات، والأثاث، والملابس وهكذا وهلم جرا. ونحن الآن محاطين بأنظمة تعمل على مدار الساعة تقريبا وهي تؤدي أعمالاً تخصنا دون أن نكون مدركين لذلك: و قد تكون هذه عبارة عن خطوة أبعد في ذلك الاتجاه.

لقد بدأ باحثو "علم الحاسبات كل مكان" مؤخرا من أي الطرق :(acutation:استكشاف (التحريك الذكي التي تستطيع من خلالها الأنظمة أن تستشعر وتؤثر على بيئاتها وتتحرك فيها برد فعل مناسب. ولعل أبسط الأمثلة على ذلك هو منظم الحرارة الذي تم اكتشافه منذ فترة طويلة جدا: والذي به يتم تنظيم فتح وإغلاق السخان تلقائيا استنادا إلى قياس درجةِ الحرارة. ومثال آخر مشهور جداً هو بابُ موقف السيارة الذي يَفْتَحُ آلياً عندما يَحس بأن السيارة الصحيحةَ تَدْخلُ الممرَ. وهذه بعض الاكتشافات الأساسيةِ في الذكاء الاصطناعي التجسيدي الضروريُة للسلوكِ الذكيِ (الفصل الرابع) التي يتقارب الأنظمة الحركية مع الأنظمة (coupling :فيها (إقتران الحسّيةِ. وإن إدراكنا لهذه الحقائق والرؤى بدأت تشق لنا الطريق نحو المجتمعات المهتمة "بحاسبات كل مكان".

بالرغم من أن تكنولوجيا الواجهات الإلكترونية كَانتْ دائماً موضوعاً هاما في عِلْمِ الحاسبات، إلا أن المشكلة الرئيسية كَانتْ تكمن في ضعف (سعة ممر نطاق bandwidth) :الإشارات الإلكترونية في تقنية الإتصالات، فعلى سبيل المثال: عادة يعتبر ممر قناة إدخال المعلوماتِ إلى الحاسب الفأرة ولوحة المفاتيح.وكما أشرنَا سابقا، فهناك الكثيرمِن الجهودِ التى تبذل لتسهيل التعامل مع الحاسبات من خلال إستخدام تقنيات الكلام كمنهجية لإدخال البيانات والتعامل معها، ولأسباب عديدة فإن الجهود لم تكلل بالنجاح حتى الآن. لقدتم مؤخراً ابتكار تقنيات وقنوات لنقل المعلومات من خلال واجهات الكترونية أكثر تطورا وإثارة، مثل استعمالإستشعارات للضغطِ على المفاتيح توفر معلومات عن مدى عدوانية المستخدم للجهاز، كما نجحت إلى حد ما بعض تجارب آلاتِ التصوير في مراقبة المستخدم وجَمْع معلوماتِ من خلال تتبع رؤية المستخدم طبقا لإتجاه نظراتة، وحالته العاطفية. هناك أيضاً دراسات تحاكي حاسة الشم للروائح. ولكن وبالرغم من أن نتائج هذه الدراسات الحالية تبدو واعدة الا أنها لم تتقدم بشكل ملحوظ حتى الآن. والقضية الأخرى التي يهمنا نقاشها هو هل حقا نحن بحاجة إلى حاسبات لديها القدرة على محاكاة حاسة الشم، تصور

مايمكن أن يحدث خصوصا بعد جلسة برمجة مع الجهاز بلا توقفِ لمدة أربعة عشر ساعة. و في الحقيقة هناك أيضا دراسةَ التقنيات الملبوسة – والحاسبات التي يمكن أن تلبس أو تكون جزء منِ لباسِنا – وهي متعلقة بتقنية "حاسبات كل مكان"، وهذه التقنية في حد ذاتها أيضا تدور حولهاً أفكاراً سَاحِرة عن مستقبلِ تفاعلِ الحاسبات مع الإنسان. والمثير في كل هذه التوجهات – (واجهات تفاعل الإنسان والآلة: human - machine interface)، حاسبات كل مكان والحاسبات الملبوسة – هو أن جميعِ أقسام عِلْمِ الحاسبات الآن تخوض متوجهة نحو التفاعل مع العالم الواقعي الحقيقي. وفي الواقع أنهم غير متخصصون في عِلم الروبوتات بحدّ ذاته، ولكن الكثيرَ بدءوا يتسابقون في توظيف المهندسين وتأسيس الورش التى يمكن أن يتم بها بناء أجهزة، لأن متطلبات التفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي غير متوفرة حاليا و مَنْ الضروري أَن تبنى. وحاليا بإمكاننا أَن نجزم بوجود تطوير في الناحية النظرية إلى حدٍ كبير، حيث أن هناك الكثير مِنْ التجاربِ المبدعِة والتى يقوم علىِ إستمرار تنفيذها المهتمون. ونحن نشعر بأن مجموعة مبادئِ التصميم التي عملنا على تكوينها والخاصة بالأنظمةِ المجسدة، والتى سوف نصِفها بالتفصيل خلال

الفصلِ الرابع و الخامس و السادس و السابع، سَتَكُون مفيدةَ جداً في تَصميم مثل هذه النظم. كما وسَنعود إلى موضوعِ حاسبات كل مكان في الفصلِ الثامن.

وفي خاتمة هذه الفَقرة، يبدو أن جزءا إبداعيا وديناميكيا جداً مِن عِلمِ الحاسبات انتقل من النظرية واللوغاريتمات غير المجسدة (disembodied: algorithms) إلى اللوغاريتمات المستخدمة في حاسبات العالم الحقيقي الواقعي، أو بالأحرى التفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي، كما هو الحال في مجال الذكاء الاصطناعي. فالباحثون في مواضيع حاسبات كل مكان وتكنولوجيا الواجهة الإلكترونية لهم إسهامات هامة سواء بشكل مباشر أوغير مباشر في مجالات الذكاء الاصطناعي. وبالمقابل، فإن التقدّم في علم الذكاء الاصطناعي – مِنْ منظور التجسيد – وعِلْم الروبوتات، وبالتحديد في تقنيات التحريك الذكي والإستشعار، سَيساهم بشكل ملموس ليس فقط في تقدم تقنية حاسبات كل مكان بل أيضا في عِلمِ الحاسبات الحديثِ بشكل عام.

2.9 الحياة الاصطناعية و أنظمة الكائنات المتعددة

تطور آخر ومثير يعود أصله إلى علم الذكاء الإصطناعي يسمى (الحياة الاصطناعية artificial: life) ويختصر المصطلح الى (حياة - إص ALif:).

ويركزالمنظور الكلاسيكي للذكاء الاصطناعي بشدة على الفرد، تماما مثل عِلْم النفس، وكما رَأينَا فقد كان عِلْم النفْس المجال العلمي الرئيسي الذي إهتم به علماء الذكاء الاصطناعي في ذلك الوقت. ولكن المجال العلمي"حياة - إص" له جذورُ قويةُ في عِلْمِ الأحياء وليس في عِلْمِ النفْس، وهو يركز على ظهور السلوكِ الذكي في (مجموعات الكائنات الكونية[22]: population of agents) كبيرة التعداد. بمعنى آخر، فإن أبحاث الحياة الاصطناعية تهتم بصناعة (أنظمة الكائنات المتعددة: multiagent systems). ولكننا يجب أن نكون حذرين، نوعا ما، عند استخدامنا لمصطلح " أنظمة الكائنات المتعددة ": ففي أبحاث الحياة الاصطناعية يفضل عادة استخدام مصطلح (الأنظمة الدناميكية المعقدة: complex dynamical systems) لأنه يشمل أيضا (الأنظمة الفيزيائية غير العضوية: physical inorganic systems) والتي يتمتع فيها أفراد الكائنات أو مكوناتهم بخصائص محدودة، مثل حبوبِ الرملَ أَو الجزيئاتَ. ويفترض أن يكون لدى الكائن بَعْض القدرات (الحركية - الحسية: sensory - motor) الأولّيةِ، ليتمكن من إدراك بعض جوانب بيئته وبالإعتماد على هذه المعلوماتِ وعلى حالته الخاصة حتى

يستطيع تحديد سلوكه في البيئةِ. أما الجزيئات والأجسام الفيزيائية الميتة والصخور فليست لديهاهذه القدرةِ.
كانت إحدى علامات النجاحِ المبكّر لهذا المجال البحثيِ هي التعرف على أن السلوكيات المعقدة التى تظهر من القوانين البسيطة والتفاعلاتِ الداخلية (لانجتون، 1995م، Langton). ويعتبر الخلوي الأتوماتيكي "أو مايعرف بالهاتف الجوال" نموذجا تقليديا لهذه الطريقة، والتي تمثل فيها "الكائنات" خلايا فرديةَ موجودة في (المصفوفات الشبكية الكونية أو العظمى[23]: grid) ويتم تحديد الحالة التالية لكل خلية من خلال معلومات عن حالة الخلية الحالية وحالةَ الخلايا المجاورة لها. وتعتبر " لعبة الحياةِ: game of life" لجون كونواي (John Conway) أفضل مثالِ معروفِ للسلوكِ الأتوماتيكي الخلوي: فَالخلايا الواقعة على بعدين مختلفين في المصفوفات الشبكية العظمى تحدد وضعها حالتان: التشغيل أو الإيقاف أَو بعبارة أخرى ("الموت" أَو "الحياة")، وتَحكمها أربعة قوانين: إذا صاحب الخلية الحية أقل من خليتين مجاورة حية فإنها تموت من (الوِحْدَة)؛ إذا كان للخلية الحية أكثر من ثلاث خلايا مجاورة، فإنها تموت من (الازدحام)؛ إذا كان للخلية الميتة ثلاث خلايا أحياء مجاورة، عندئذ فإنها تحيا من

جديد وتمر بحالة (إعادة الإنتاج)؛ وفي باقي الحالات تبقى الخلية كما هي. وسحر لعبةِ الحياةِ يكمن في الكم الهائل من التنوع والمرح والأنماط التى تنتج في (تناسق زماني ومكاني: spatiotemporal) من خلال هذه القوانين الأربعة البسيطة جدا. ولقد أعطى الناس أسماء مختلفة للعديد منها، مثل: المتُذبذِباتِ، الوامضات، المنقلبات، المتأرجحات، المدافع المتأرجحة وغيرها من الأسماء وتوجد العشرات من العروض الحيّة لهذه اللعبةِ على الإنترنتِ.

ما يهمنا في أنظمة الحياة الاصطناعية التقليدية هو مجموعات الكائنات الكونيةوليس الفرد. وفي حالة الخلوي الأتوماتيكي، فإن الكائنات الفردية هي عبارة عن خلايا من ضمن المصفوفة الشبكية العظمى، ولكن ما يعنينا فقط هو أمر هذه الكائنات الفردية عند تواجدها ضمن سياق الخلايا الأخرى. فمثلاً الدراسات حول (التنظيم الذاتي: selforganization) في مجتمعات الحشرات والتي أجراها جان لوي دينوبورغ (Jean - Louis Deneubourg) من جامعة ليبر (Libre) في بروكسل (في مركز دراسات الأنظمة المعقدة والظواهر غير الخطية: Systems the Center for Nonlinear Phenomena and

والتى درس فيها الحياة الاجتماعية عند (Complex الحشرات، تهتم أيضا بدراسات الجماعة ومجموعات الكائنات الكونية. ولقد جذب هذا المنظور الكثير من الباحثين: "لوغاريتمات النمل" (دوريغو وآخرون، و"ذكاء ،(Dorigo and Stuzle ،2002 م ،المستعمرة أو السرب" (بونابو وآخرون، 1999م هي ضمن المصطلحات الحديثة (.Bonabeau et al ،التي صيغت (انظر أيضا دوريغو وستوزل، 2004 م تأثر كل من دوريغو و .(Dorigo and Stuzle دينوبورغ بالجو العلمي الذي أوجده الفيزيائي اليا الحاصل على جائزة (Ilya Prigogine) بريجوجين نوبل عام 1977 م عن عمله حول (الهياكل المتبددة [24]]:Dissipative structures). وقد تأثر الكثير من الباحثين بأعماله في حقل الحياة الاصطناعية وعلى وجه الخصوص فيما يدور حول التنظيم الذاتي والأنظمة المعقدة. وقد عرف بريجوجين، الذى عاش في بروكسل لسنوات عدة كرئيس لمؤسسة سولفي للكيمياء والفيزياء الشهيرة، خارج المجتمع (Solvay) الفيزيائي في كتابه بعنوان "النظام من أصل الفوضى: بريجوجين وستينغر، Order out of Chaos")

الذي أثار (Prigogine and Stenger ،1984م الكثير من الجدل.

التنظيم الذاتي هو فعلا أحد المفاهيم التي عاود الظهور في الذكاء الاصطناعي الحديث (انظر مثلا كامازين وآخرون، Camazine et al.، 2001 م) وسنعاود الحديث عنه خلال الكتاب مرة أخرى. ونعني بالتنظيم الذاتي بعض البنى أو الأنماط – مثلاً الأنماط الموجودة في أجنحة الفراشات، أو الخطوط الموجودة على فراء حمار الوحش، أو تنظيم اجتماعي معين في مجتمعات الحشرات – والذي يأتي نتيجة للتفاعل الداخلي لعدة مكونات، وليس نتيجة توجيه خارجي، كالتحريك والتحكم المركزي الشامل. فالتنظيم الذاتي مفهومٌ قويٌ جداً ولكن يستعصي علينا إدراكه بصورة تلقائية، لأننا دائما نحاول فهم الظواهر من حولنا من منطلق كيفية التحكم والسيطرة. وعلى كل حال بمجرد استيعابنا للفكرة تصبح طبيعية جدا وعندها يبدو من الصعب فهم الكيفية التى تعاملنا بدونها في السابق، وسنوضح هذا في الفصلين السادس و السابع.

هناك مثال آخر جميل عن التنظيم الذاتي والذي يتضح فيه كيفية الوصول الى سلوك متطور جداً مثل تشكيل طريق النملة. حيث يمكن لبعض أصناف النمل أن تجد

أقرب مصدر للطعام ضمن عدد من المصادر الموجودة في الحيز القريب من سكنها، وبذلك يمكننا القول بأن النمل يستطيع إيجاد الحل الأمثل لمشكلة معقدة. ولقد طرح (1989م Deneubourg and ،دينيبورغ وجوس Goss) تساؤلا حول ما إذا كانت هذه المقدرة لدى النمل بسبب الذكاء الفردي للنملة أم بسبب تفاعلها الاجتماعي مع باقي النمل. إذا عزونا هذه القدرة الى الذكاء الفردي لدى النملة فإن ذلك يعني ضمنيا أن النملة تقارن المسافات الى مصادر الطعام، وبناء على معرفتها التراكمية تختار أقرب مصدر قريب من سكنها. وهذا بدوره سيتطلب الكثير من الحسابات وقدرا كبيرا من الاستكشاف ومعرفة بالبيئة المتشكلة من خلال الأفراد. ولكن هناك حل أبسط بكثير. فإن النمل يُعَلِّم طريقه بالفيرمون – وهي مواد كيمائية ذات رائحة قوية – عندما يترك مسكنه للبحث عن الطعام، وكذلك أثناء العودة من هذه الرحلة. وعندما تتقاطع الطرق يختار النمل أكثر الطرق تعليما بالفرمون و السبيل الأكثر تأكيدا في احتمال وصوله لمسكنه. ويعود النمل الذاهب الى مصادر طعام قريبة من مسكنه بصورة أسرع وكنتيجة لذلك فان الطرق الأقصر تحتوي على تعليم أكثر من تلك التي تقود الى مصادر طعام بعيدة. وذلك لان الطرق

الاقصر تزيد بها كثافة الفرمون وهذا بدوره سيجذب أعداداً أكبر من النمل مما يؤدي الى تسريع تعليم الطريق الأقصر. وتعد هذه العملية مثالا على دورة لرد فعل إيجابي تراكمي كما يطلق عليها عادة (عملية تعزيز القوة الذاتية: self - reinforcing process) أو (التفاعل الذاتي: autocatalysis). [25] وهذا يوضح لنا تفسيراً بسيطاً جداً عن الكيفية التي يتجه بها النمل إلى أقرب طريق للطعام بواسطة التنظيم الذاتي وليس بواسطة قوة الإدراك الفردي.

ويرتبط (علم روبوتات الوحدات المرنة: modular robotics) بمجال بحثي استقي كثيرا من بحوث الحياة الإصطناعية؛ وأيضا متعلق بأنظمة الكائنات العديدة. وفي هذه الحالة فإن الكائنات الفردية عبارة عن وحدات مرنة روبوتية متعددة تستطيع التجمع وتكوين روبوتات ذات أشكال مختلفة، انظر شرح الأنظمة الروبوتية المرنة مثلا (كتاب هارا وفايفر، Hara and Pfeifer، 2003 م). وإن أحد أهداف هذا النوع من الدراسة البحثية هو تصميم أنظمة تستطيع اصلاح نفسها ذاتيا، وهي خاصية توجد لدى جميع الكائنات الحية بدرجة متفاوتة: فمثلاً يمكن لجرح بسيط أن يلتئم دون تدخل خارجي على الاطلاق. وعليه فالتجميع الذاتي و (وإعادة التعريف

مواضيع جذابة (self - reconfiguration:الذاتي ستصبح أكثر أهمية في المستقبل عندما يصبح من اللازم أن تعمل الانظمة الذكية عبر فترات زمنية طويلة بصورة ذاتية وفي مناطق وعرة وبعيدة مثل أعماق البحار أو الكواكب الاخرى. ويوضح العمل الذي قام به المهندس ساتوشي موراتا (Satoshi Murata) من جامعة طوكيو وزملائه (موراتا وآخرون، 2004 م Murata et al.) كيف يمكن تفعيل خاصية إعادة التركيب ليس فقط في نظم المحاكاة البرمجية للروبوتات ولكن في الأنظمة الروبوتية الفعلية (انظر رسم 7.1 في الفصل السابع). يجب أن نذكر، على كل حال، إنه حتى وقتنا الحالي فإن نظم الاصلاح الذاتي أو اعادة التعريف الذاتي يتم التحكم بها على نحو ضيق بواسطة لوغاريتم مركزي وليس نتيجة عن تفاعلات داخلية. وسنشرح المزيد عن هذا في الفصل السابع.

كما أن الانظمة الطورية تقدم مثالاً آخرا على ما نطلق عليه: (تفكير مجموعات الكائنات الكونية population thinking)، حيث يتم فيها دراسة تكيُّف المجموعات بأكملها بدلاً من تكيف الأفراد. وسوف ندرس تأثير (التفكير الطوري evolutionary: thinnking) في الفصل السادس. وبسبب ارتباطه

الوثيق بعلم الاحياء، فلقد الهم التفكير التطوري المتخصصين في علم الاقتصاد أيضاً وبهذا ظهر مجالً جديدً في علم الاقتصاد يسمى (اقتصاد الكائن agent - based economy) (مثال: ابستاين وآكستل، 1996م، Epsein and Axtell). فإن في الغالب اللوغاريتمات الطورية و لوغاريتمات النمل، لايتم إستخدامها كنماذج حيوية بيولوجية، ولكن تستخدم كأسلوب أمثل فعَّال في إيجاد الحلول: فالعديد من الشركات الصناعية الكبرى تستخدم هذه اللوغاريتمات في تحسين التصميم وتخفيض التكلفة مع رفع الطاقة الإنتاجية (ولإلقاء نظرة عامة لإستخدام لوغاريتمات النمل في الصناعة انظر(دوريقو و ستل، 2004م، Dorigo and Stüle).

ومما يجذب الانتباه، ان الباحثين تبنوا بسرعة مصطلح (نظم الكائنات المتعددة multiagent systems) في الذكاء الاصطناعي التقليدي، ولكن تطبيقهم للمصطلح تم بأسلوب مختلف تماما. بدلاً من إمعان النظر في دراسة السلوك غير المبرمج الدارج تطبيقه فيالحياة الاصطناعية، فقد إستخدموا نظم الكائنات المتعددة بشكل روتيني بهدف الوصول إلى مهام محددة، مثل مهام البحث على الإنترنت (مثال: فيربر، 1999م،

وغالبا في هذا النوع من المجال البحثي ما .(Ferber
يتم تزويد أفراد الكائنات بطرق تحكم مركزية مشابهة
لتلك التي يتم إستخدامها في المنهج التقليدي للذكاء
الإصطناعي. لذلك فإن منهج نظم الكائنات المتعددة في
معظم الأحوال لايدرس ظاهرة السلوك غير المبرمج.

في علم الروبوتات كان هناك اهتمام متزايد بنظم
الكائنات المتعددة. ويظهر إندفاع الحركة القوية بوضوح
في الإهتمام بهذه النقطة. وتعرف هذه الحركة بإسم
"الروبوت كب" أو كأس الروبوتات لكرة القدم والذي تم
الترويج له من خلال الباحث الياباني المفعم بالحماس
Hiroaki ،كيتانو هيروكي وآخرون (1997م
Kitano)، ولم يقتصر الحماس العلمي لهذا المشروع
على العلماء اليابانيين ولكنه امتد ليشمل العالم بأجمعه.
وخلال بطولة الروبوت كب التي أقيمت في عام 2002 م
في(Fukuoka Dome:) قبة فوكوكا وهي أكبر قبة
رياضية في العالم تقع في جنوب غرب مدينة فوكوكا على
جزيرة كيوشو (Kyushu) في اليابان، حضر أكثر من
100.000 مشاهد وقد ساد الأجواء حماس شديدً
وتعاطفً مع الأحداث الرياضية، كما هو الحال في بطولات
كرة القدم الحقيقية! ولكن إحدى المشاكل التي تواجه
موضوع الدراسة البحثية في نظم الكائنات المتعددة هو

أن الروبوتات المتوفرة عددها محدودً – لأن عمل نسخ من الربوتات الحقيقية أصعب بكثير من نسخ البرامج الحاسوبية – لذلك لم تتم ملاحظة أي ظاهرة في السلوك غير المبرمج جديرة بالاهتمام. كما أن الهدف من لعب كرة قدم الروبوت هو تحقيق الهدف في المرمى للفوز وليس تحقيق مستوى متقدم في السلوك غير المبرمج. ولقد أحرزت فرق كرة الروبوت كب تقدما ملموسا في الآونة الأخيرة: وأصبحت هذه الألعاب مشابهة لألعاب الرياضة الحقيقية ليس فقط في سرعة الجري بحد أقصى ولكن أيضا يتم فيها تعاون اللاعبين لتحقيق الهدف.

إن إحدى مشكلات البحث الهامة هي انجاز مستويات أعلى من الذكاء في النظم المنتجة بواسطة محاكاة مجتمعات الكائنات المتعددة. ولعل الصورة النموذجية لهذه الدراسات، تتجلى في عمل الباحثة شارلوت هيملرجيك (Charlotte Hemelrijk) عالمة الأخلاقيات[26] التي أجرت دراسات لمجموعات كائنات إفتراضية على (أشباه الزعماء :primate - like)، وعلى التسلسل الهرمي مابين نوعيات الكائنات ومابين المجموعات الفرعية الناتجة من ذاتها بدون برمجة، وكذلك على نماذج الأنماط الناتجة من الأنماط الرئيسية والتي تكونت نتيجة التفاعل القائم بين الكائن مع الكائن،

كل تلك الدراسات تمت دون الحاجة إلى برمجة مسبقة "للرغبات" لتكوين هرم اجتماعي أو معرفة تغيرات لأنماط مهاجرة يمكن تتبعها. لم يكن التفكير والمنطق التأملي واللغة موضوع اهتمام الباحثين في مجال الحياة الإصطناعية. ويعتبر ماقدمه باحث الذكاء الاصطناعي و اللغوي لو ستيل ((lus steels في استثنائياً نموذجاً والتي ،(Talking Head: تجربته (الرأس المتحدثة لابد التفريق بينها وبين الفرقة موسيقية التى تحمل نفس الاسم، وهي محاولة جادة تبحث في مستوى الإدراك العالي – واللغة الطبيعية – من منظور مجموعات الكائنات الكونية (ستيل، 2001م، 2003م). و قد عرض على سبيل المثال مع مجموعة من طلابه عدد من التجارب المبتكرة تبين الكيفية التى تكونت فيها عدد من المفردات العامة من خلال تفاعل الكائنات مع بيئتها وتفاعلهم مع بعضهم البعض دون البرمجة المسبقة. كما أن هناك عملً تمهيديً عن تكوين التركيب اللغوي غير المبرمج. وفي هذا البحث، تم إكتساب العديد من الرؤى عن كيفية تأسيس نظم الاتصالات لذاتها – وكيفية تنظم ذاتها – وكيف أن شيئا مثل القواعد النحوية يمكن أن يتكون دون أن يتم تعريفة وتحديده مسبقا لدى الكائن. وعلى الرغم من أن هذه الطريقة واعدة جداً وجذابة، إلا

أن المحكمون على نجاح هذا الأسلوب لايزالون يشكون فيما إذا كانت ستقودنا إلى نتائج مشابهة لللغة الطبيعية.
بسبب الاختلافات الجوهرية في الأهداف، بقي الباحثون من مجتمع (الكائنات المصنفة :distributed agents) الذي انبثق من مجتمع الحياة الاصطناعية والباحثين من علم الربوتات والعلم الذي تطور من علم الذكاء الإصطناعي منفصلان حتى الآن. وبشكل عام فإن، مجتمع الحياة الاصطناعية يركز بصورة كبيرة على مجموعات الكائنات الكونية و(الأنظمة الموزعة: distributed systems) القائمة على تفاعل الكائنات داخليا فيما بينها، والتنظيم الذاتي، و التعقيد الحركي، والقليل من التركيز على الأنظمة المجسدة، ولكن الباحثين في هذا المجال يساهمون في تجسيد الذكاء الاصطناعي – بصورة أو بأخرى بغض النظر عن تحقيقه أو عدمه.

2.10 علم الروبوتات التطورية

إحدى موضوعات البحث الرئيسية المتعلقة بموضوعات الحياة الاصطناعية والتى تحاول فهم الكيفية التي نشأت بها الحياة على الأرض، وكل الذي نعرفه هو أن الأطوار لعبت الدور الرئيسي في هذه العملية. وهكذا، فلابد أن لايدهشنا أن معظم أبحاث الحياة الاصطناعية

موجهة نحو المفهوم التطوري: وهذا يشمل فهم ودراسة الطور الطبيعي و تصميم كائنات بإستخدام أطوار اصطناعية. وعندما تم اختراع الطور الاصطناعي في ستينات القرن الماضي، كما سيتم الإشارة الى ذلك في الفصل السادس، كان هناك الكثير من التطورات البارزة التى أدت إلى رؤى جديدة أفادت في معرفة طبيعة التطورات الطورية بشكل عام وقد نتجت عن تطبيقها صناعات تقتية مدهشة. وعلى سبيل المثال، لقد ساهم استخدام أساليب التصميم التطورية الأتوماتيكية في إحداث نقلة نوعية وكمية في إنتاج أجهزة فاقت في أدائها الأجهزة التي صممها الإنسان، مثل الدوائر الكهربائية أو الأنتنا (كوزا وآخرون، 2004م Koza et al.)، الهوائية (لوهان وآخرون، 2004م Lohanet et al.). وبسبب اهتمامنا بالتجسيد و لأغراضنا البحثية، فإن المجال المعروف بإسم (علم الروبوتات التطورية: evolutionary robotics) يعتبر مهم لنا بشكل خاص. والطرق المستنبطة من الأطوار الذكية يمكن إستخدامها في تصميم أجزاء عديدة في الروبوتات. على النحو التقليدي، في علم الروبوتات الطورية يعتبر – الدماغ – هو الجهاز المسيطر في الروبوت الذي يمر بمراحل تطورية. ولكن مؤخراً، ومع ورود المفاهيم

المتقدمة والأكثر رقيا من نماذج (الشبكات الجينية التنظيمية:genetic regulatory networks)، فقد مرت الروبوتات بأكملها – بما فيها الجسد و النظم العصبية – بالمراحل التطورية. لقد كان العالم الياباني الكندي تاكاشي جومي (Takashi Gomi) الشغوف بالربوتات التطورية من أوائل الذين عرفوا الأهمية العلمية لهذا المجال الذي جاوز إهتماماته العلمية، ولقد سعي إلى دمج الطرق التطورية ليس فقط في علم الروبوتات ولكن أيضا في مجال التطبيقات التجارية والأعمال. كما قام بتنظيم سلسلة من المؤتمرات الناجحة في علم الروبوتات التطورية في السفارة الكندية في طوكيو. ومنذ ذلك الحين، أصبح هذا المجال شائعاً جداً ليس فقط في اليابان ولكن في العالم أجمع، وتم تأسيس هيئة من الباحثين لها إسهامات في الذكاء الاصطناعي المجسد. وإن فهم الكيفية التى إنبثقت منها النظم المجسدة أثناء العملية التطورية، يعتبر إسهاما هاما في مجال الذكاء الاصطناعي. ولكن مرة أخرى، فان القليل من علماء الروبوتات التطورية يعتبرون مايقومون به جزءاً من الذكاء الاصطناعي. وسوف نكتشف ذلك بعمق أكثر في علم الربوتات التطورية في الفصل السادس.

2.11 ملخص

موجز القول، أنه من خلال المسح الشامل لمجال الذكاء الاصطناعي إستطعنا أن نلمس أن هناك تغيير جذري طرأ على المجال بصورة ملحوظة في السنوات الأخيرة: بينما كان المجال في البداية بصورة جلية حاسوبيا يعتمد بصورة رئيسية على علم الحاسوب، وعلم النفس الإدراكي، وعلم اللسانيات و علم الفلسفة، فقد تحول الآن إلى مجال يعتمد على معارف مختلفة من تخصصات مركبة ويتطلب تعاوناً ومواهبا من الباحثين العاملين في مجالات أخرى مثل علم الأحياء، وعلم خلايا الأعصاب الدماغية، والهندسة (الالكترونية والميكانيكية)، وعلم الربوتات، والميكانيكا الحيوية، و(علم المواد: material science)، والأنظمة الديناميكية الحركية. وقد أدى هذا إلى ظهور مجتمعات ذات طبيعة معرفية متداخلة، على خلاف مجتمعات الذكاء التقليدي، أطلق عليها مسمى (الذكاء الاصطناعي التجسيدي: embodied artificial intelligence) أو (علم الإدراك التجسيدي: embodied cognitive science). وحيث أن هذه هي النظرة الحديثة للذكاء الاصطناعي، فلن نستخدم مصطلح الذكاء الاصطناعي التجسيدي: والذي تم وصفة في هذا الفصل بأنه ليس مجرد نظرية أو فرعا ولكنه حقيقة واقعة ومجالاً شاملاً.

وأن الذكاء الاصطناعي التجسيدي هو الذكاء الاصطناعي الآن.

وبالرغم من أن علم النفس وعلم اللسانيات لم يشكلا موضوع اهتمام العديد من العلماء لفترة طويلة، ولكن مع ظهور (علم الروبورتات المتطورة: developmental robotics) تجددت الحاجة إلى الاهتمام بهذه المعارف. وإن البحث النهائي من هذه الدراسة والذي ظل ثابتاً لم يتغير على مر السنين هو فهم وبناء أنظمة قادرة على التفكير بمستوى عالي وبلغة طبيعية وإدراك مطلق. أما ما تم تغييره فهو الطريق – المنهج – الذي من خلاله نصل إلى الهدف. وبالرغم من أن ظهور الأفكار المتعلقة بالتجسيد تعود إلى تاريخ الفلسفة، فان التطورات في علم الذكاء الاصطناعي حالياً لا تدعم فقط التحليل ولكن أيضا بناء النظم المجسدة التي توفر مادة ذهنية حديثة وافرة لعلماء الفلسفة. وبالرغم من تعدد الأوجُه لطبيعة علم الذكاء الاصطناعي، إلا أن هناك مبدأً موحدً الا وهو: المنهج التركيبي والذي سيتم شرحه بالتفصيل في الفصل القادم. وبإيجاز شديد فإن المنهج التركيبي يصرح بأن بناء الكائنات يكون فيزيائياً وبصورة واقعية – مثل الروبوتات الحقيقية – تمكنَّا من تعلم الكثير جداً عن طبيعة الذكاء. بالإضافة إلى ذلك، فإن

ما يحسم الموضوع في هذا المجال هو (الكائنات المجسدة:physical agents) التى تقوم بوظائف تكاملية متقدمة اعتمدت على نتائج العلوم المختلفة التي تم ذكرها في هذا الفصل. بالإضافة إلى ذلك، فإن الكائنات المجسدة تسمح بإجراء اختبارات واقعية للأفكار بطريقة فعلية وهادفة: مثل هل فعلاً يعمل الروبوت أو لايعمل؟ حيث لاتوجد دراسة تفصليه تلقي الضوء على دقائق هذه الأمور. وعلاوة على ذلك فان الروبوتات تشكل قواعد متينة لأبحاث (العلوم البينية: transdicisplinary) والاتصالات. وباستخدام المنهج التركيبي في بناء الأنظمة، فنحن ليس فقط ننتج ماهو مسلٍّ – على الأقل في بعض الأحيان – ولكن ننتج ماهو مفيد مثل النماذج الروبوتية المصنعة يدوياً للوصول إلى فهم أعمق لأشكال الذكاء الطبيعي. ومرة أخرى، فان تأثير تطبيق منظور التجسيد يبدو مذهلاً: فإن الرؤى مدهشة كما أنها تغير الطريقة التى نرى بها أنفسنا والعالم من حولنا بصورة جذرية. وهذا مايدور حوله كتابنا.

الجزء الثاني
نحو نظرية الذكاء

الفصل الثاني محاولة لصياغة الخطوات الأولى من نظرية الذكاء. ويعَد تطوير نظرية الذكاء بالتحديد عملا ضخما، وقد سلك هذا المسعى العديد من النابغين وبذلوا محاولات كثيرة لتجربة حظهم في ذلك. وسنذكر بعضا منهم؛ مع بداية القرن التاسع عشر وجدنا أن عالم النفس والفلسفة ويليام جيمس ((William James 1910 - 1842: author of مؤلف (كتاب: مبادئ علم النفس Principles of Psychology)، وعالم النفس النمساوي الشهير سيجموند فرويد (Sigmund Freud) 1939 - 1856 والملقب (أب التحليل النفسي: father of psychoanalysis)، والعالم البيولوجي والنفسي السويسري جين بياجيت ((Jean Piaget1980 - 1896 والذي يعتبر بطل تطوير الذكاء عند الأطفال، وعالم النفس الروسي ليف فيغوتسكي (Lev Vigotsky) 1934 - 1896 مؤسس النظرية الأساسية في (المنظور البنائي لعلم النفس[27]: constructivist perspective on psychology) وعالم النفس البريطاني شالرز

سبيرمان ((Charles Spearman 1945 1863 - مخترع (المُعَامِل العام للذكاء "ج": general intelligence factor g)، والذي أصبح معيارا أساسيا لإختبارات مقياس الذكاء البشري المعروف بإسم (آي كيو:IQ). جميع هؤلاء ساهموا بشكل جاد في دعمنا لفهم معنى الذكاء، ويمكن القول أنهم بشكل عام طوَّروا نظريات الذكاء. وحديثاً ظهر علماء أظهروا جهودا بحثية يمكن أن تُرى على أنها نظريات ذكاء وهم: روبرت سترنبيرج ((Robert Sternberg صاحب (نظرية تررياريك للذكاء: Triarchic Theory of Intelligence) عام 1985م، و هووارد قاردنر(Howard Gardner) صاحب (نظرية الذكاء المتعدد: Theory of Multiple Intelligence) عام 1983، مارفن منسكي ((Marvin Minsky ونظريته (مجتمع العقل: Society of Mind) 1987، ألين نوول ((Allen Newell صاحب (النظريات الموحدة للإدراك: Unified Theories of Cognition) عام 1990، وجون أندرسون ((John Anderson ونظرية (آيه سي تي: ACT) المعروفة (بناء الإدراك: The Architecture of

Cognition)، و ستيفن بنكر (Steven Pinker) في (كيف يعمل العقل: How the Mind Works).

على الرغم من هذه الجهود المتميزة، فإنه باستطاعتنا أن نساهم بما يثري الموضوع، و السبب وراء ذلك هو اعتقادنا بأن فكرتنا نشأت من منظور التجسيد ومن خلال المنهج التركيبي، والذي كان غائبا في النظريات السابقة. ولذلك فإن هذاالجزء من الكتاب يستعرض محاولات نحو إيجاد نظرية للذكاء تعتمد بشكل رئيسي على التطورات الحديثة لفهمنا في موضوع التجسيد. ويعد هذ الجزء من الكتاب الأساسي و بالمعنى الأصح الأكثر صعوبة، وحتى نجعله أكثر سهولة فقد ضمَّنا عرضنا الكثير من الأمثلة التي تدعم نقاشاتنا وحواراتنا.

وبعد عرض الصورة التي قدمناها في الفصل السابق من خلال المسح الشامل للمجال مشوشة نسبيا، وعليه يظهر لنا سوآل مهم وهو: إلى أي حد يمكن أن تتشكل نظرية للذكاء في بيئة من العلوم المتداخلة. و لأن علمنا والذي هو موضوع بحثنا، أي الذكاء الاصطناعي، لا يحلل فقط النظم البيولوجية الموجودة في الطبيعة ولكنه أيضا يهتم ببناء النظم الإصطناعية، لهذا نحن في الحقيقة نتعامل مع نوع جديد من أنواع العلوم، علما ذو طبيعة تركيبية أكثر من كونه تحليليا مثل بقية العلوم البحتة

المعروفة: كعلم الأحياء والفيزياء والخلايا الدماغية العصبية والكيمياء، اللآتي يمكن البحث والتنقيب في نظمها الموجودة من خلال الطبيعة. بالإضافة إلى ذلك فإن فرع المعارف التحليلية موجود منذ مدة زمنية أطول من وجود الذكاء الاصطناعي، كما أن هناك معايير معتمدة ومعروفة تحدد مكونات العلم الجيد، بينما في المنهج التركيبي فإن المعايير التى يتم بها تحكيم التجارب والنظريات لاتزال بحاجة إلى تطوير.

وهكذا فإن الفصل الثالث يرسم الخطوط العريضة لأنواع النظريات التي نبحثها ويقدم إطارا عاما للعديد من المفاهيم الهامة مثل الإستجابة والإختلاف، الإطار المرجعي، المنهج التركيبي، (المنظورات الزمنية time perspectives) والسلوك غير المبرمج. وهذا الفصل يحتوي على شئ من الفلسفة العلمية، والتي نستخدمها لتقديم إيجاز عن طبيعة النظرية، و لوصف ماذا يقصد بإنجاز تقدم فعلي في هذا المجال البحثي. ولا يفوتنا أن نذكر بأن ما سنقدمه يعتبر بمثابة لمسنا للسطح في هذا المجال العلمى، ولكن من المثير أن نلمح إلى أن نوع النظرية التي نبحث فيها لم يكشف عنها النقاب في أي من الأدبيات البحثية المنشورة السابقة.

لتوضيح إطارنا العام، سوف نستعرض مثالا واحدا notion of the three:(مفهوم الأطر الزمنية الثلاثة time frames) أو (المقاييس الزمنية: time scales) التي نستطيع من خلالها دراسة السلوك. ويدور الفصل الرابع والخامس والسادس حول هذه الأطر الزمنية "هنا والآن" here and now: مثل (الضغط على الفرامل عند رؤية الضوء الحمر لإشارة المرور)؛ التعلم والتطوير learning and development :(ويبين مثلا (كيفية أكتساب السلوك لتطبيق الوقوف عند رؤية الضوء الحمر لإشارة المرور)؛ و(المفهوم التطوري evolution: ويوضح (الكيفية التطورية للدماغ لحدوث المعرفة)).

يصف الفصل الرابع خواص كائنات العالم الحقيقي الواقعي، ثم يقدم مجموعة من (التصاميم الإجتهادية: design heuristics)، و "مبادئ التصميم للنظم الذكية: systems design principles for intelligent "، والتي يمكن أن ترشدنا إلى طرق (هندسة الكائنات التركيبية: engineering synthetic agents) كما تساعدنا على فهم الكائنات البيولوجية الحيوية الطبيعية. و مبادئ التصميم هذه تهتم على وجه الخصوص بالأطر الزمنية "هنا والآن ". وهذا

أطول فصل في الكتاب ويتطلب الجلد من القارئ. على أية حال، سنعرض هنا العديد من الرؤى المذهلة والتي لم يتم الحديث عنها في الأبحاث المنشورة السابقة، فعلى سبيل المثال، الواقع ليس فقط بأن الكائنات تركب معلوماتها من خلال قنواتها الإستشعارية حين تفاعلها مع بيئتها، و إنما كيف تقوم الكائنات بذلك هي أحدى النقاط التي ستتم مناقشها بالتفصيل.

يقدم الفصل الخامس دراسة أولية عن قضيتي التصميم والتحليل من المنظور التطويري، ويتساءل كيف بإمكان (الإدراك ذو المستوى– العالي high - level cognition) أن يظهر خلال عمليات تطور البلوغ: كيف يظهر الإدراك عندما ينضج الكائن ويصبح "راشدا". مثلا: كيف يمكن لشيء متقطع كمعالجة الرموز المجردة أو الإدراك أن ينشأ في نظام مستمر بشكل كامل – ونحن جميعا عبارة عن أنظمة ديناميكية حركية مستمرة – عبر الزمان؟. وعلى وجه التحديد، فما يتطلبه هذا السؤال المثير هو معرفة ما هية السير – أو بصفة عامة – التحريك – وماعلاقته بالتفكير. وهو الذي سنناقشه بالتفصيل في ذلك الفصل. وطريقة أخرى للنظر في هذه القضية يندرج تحت مسمى (مشكلة ترسيخ الرمز المشهورة symbol grounding problem:)

بسوء سمعتها، وتعني هذه المشكلة بالكيفية التي تكتسب بها الرموز معانيها، أو الكيفية التي يتحقق بها الاتصال بين الرمز والبيئة؟. وهذا الفصل ينتهي بتقديم مجموعة مباديء التصميم التى تركز على (المنظور الزمني التطويري: time perspective developmental). إن الكثير من الأفكار مستقاة من العلم المزدهر والذي يطلق عليه (علم الروبوتات التطويري: developmental robotics)، والذي يهدف الى تقليد ومحاكاة العملية النفسية السيكولوجية والبيولوجية التطويرية في الروبوت، وقياسا ذلك النوع من الروبوتات المعروف بأنه شبه إنساني.

الفصل السادس يبحث في إستغلال الأفكار من التطور البيولوجي الحيوي واستخدامها في تصميم كائنات روبوتية – كاملة لها أجسام وإستشعارات ومحركات ودماغ – إبتداء من نقطة الصفر. بالطبع لا نقصد هذا حرفيا "إبتداء من نقطة الصفر"، ولكننا نعني أن قرارات المصمم تمت على مراحل مختلفة أكثر من كونها نتجت عن مفهوم "هنا والآن" أو عن المنهج التطويري. ونحن كمصمميين نتوقف هنا حيث ينتهي دورنا بعدما تمت محاكاة المفهوم التطوري وندعه يعمل لنا وبدلا عنا. إن النقطة التى يجب الإشارة اليها هنا هو أن ندع المفهوم

التطوري يصمم لنا كائنات إفتراضية تؤدي مهاما يتزايد تعقيدها تدريجيا مع المراحل التطورية للكائن، إلى أن نصل إلى نقطة، يصبح فيها إستخدام المصطلح "إدراك" ممكنا لوصف سلوكها. إن أحد أهداف هذا الفصل إبراز قوة التطور الإصطناعي. وخصوصا، أننا سنقدم بعض الأمثلة المثيرة للعجب والانتباه عن الكيفية التي تفوق فيها الكائن الروبوتي في مهامه الهندسية المتقدمة على البشر. وبينما يركزالفصل الخامس على زمن حياة الفرد، فإننا في الفصل السادس، نمدد الإطار الزمني ليشمل أجيالا عديدة من الكائنات، ونوسع رؤيتنا للإهتمام ليس فقط بالكائنات المفردة ولكن بمجموعات الكائنات الكونية. ومجددا، نلخص النتائج الأساسية كمجموعة من مبادئ التصميم وهذه المرة للنظم التطورية.

ستتم مناقشة تأثير الإهتمام بدراسة مجموعات الكائنات الكونية ومجتمعاتهم بدلا من الافراد في الفصل السابع. وعندها سنطلع على الظواهر التي تولدت في مجموعات الكائنات الكونية ومجتمعاتها – وهذه الظواهر، أو الأنماط السلوكية، في المجموعات جاءتنتيجة تفاعل الكائنات مع بعضها البعض دون معرفة مسبقه بالأنماط الكونية المحيطة. وإن هذا النوع من السلوك غير المبرمج يطلق عليه " الذكاء التجميعي:

ومثل هذه الظواهر .collective intelligence" عادة يتم دراستها إفتراضيا من خلال ما يعرف بإسم الكائنات (محاكاة: agent - based simulations)، بدلا من تطبيقها فعليا على الروبوتات: وسنتأمل قليلا في أسباب هذه الحالة. و سنقدم نوعا آخر من الذكاء التجميعي يسمى (روبوتات الوحدات المرنة: modular robots): وهي روبوتات مكونة من عدة وحدات، وعندما تتجمع هذه الوحدات مع بعضها تنتج سلوكيات مختلفة عند تفاعلها مع بعضها البعض، كما تستطيع إنجاز سلوكيات تجميعية مثيرة. وفي مجال روبوتات الوحدات المرنة، فإن الوحدات المتعددة ينظر إليها على أساس أنها كائنات، إضافة إلى الروبوت نفسه. وذلك لأن روبوتات الوحدات المرنة تستطيع تغيير أشكالها وهيئتها، وتعتبر أكثر تكيفاً من تلك الروبوتات التي تغيير فقط أجهزة تحكمها أو كوابحها. لقد أصبح مجال روبوتات الوحدات المرنة مدهشا في الوقت الحالي، ولكن الوحدات المطلوبة حاليا يترواح حجمها ما بين 5 سم إلى 10 سم، كما ان عدد الوحدات قليل –عادة أقل من 100وحدة – مستخدمة. ومع التطور الحديث قد يصبح من السهل صناعة وحدات روبوتية مرنة أصغر وتوفير عدد أكبر منها مما يعزز

التطبيقات الكامنة خلف صناعة هذه الروبوتات. إن السيناريوهات التى تظهر في تطبيقات الخيال العلمي مثل التي تتضمن أسرابا ومستعمرات من الروبوتات الميكروسكوبية قد تصبح حقيقة في المستقبل القريب. وأهم النقاط في هذا الفصل، سنجملها في مجموعة مبادئ التصميم للذكاء التجميعي.

الفصل الثالث
متطلبات سابقة لنظرية الذكاء

كتب الفيلسوف البريطاني المولود في النمسا عام 1935م، وبطل الفلسفة العلمية كارل بوبر (Karl Popper)، في كتابه الهام والمؤثر (منطق الاكتشاف العلمي: The Logic of Scientific Discovery) الذي صدر أولاً في ألمانيا بإسم (Logik der Forschung) (-1935م بوبر، 1969م). جادل بوبر في هذ الكتاب بأن النظريات العلمية لا يمكن التحقق من صحتها، وانما يمكن فقط مناقشتها أوإثبات عدم صحتها. وبناء على هذا المنظور فإن، الشكوك تبقى فقط لمدة مؤقتة فقط، بمعنى أنها تبقى مهمة فقط حتى يثبت عدم صحتها بدليل تجريبي قاطع. ولقد كانت هذه هي طريقة بوبر لحل مشكلة الخلط وللتمييز بين النظريات العلمية والنظريات الزائفة، التي يدعي أصحابها بأنها علمية بينما في الحقيقة هي غير ذلك. ويرى بوبر أن النظرية النسبية لأينشتاين (Einstein) تحتل عموماً مكانة النظرية العلمية بينما في علم الاقتصاد أو نظرية (Marx) يعتبرنظرية ماركس هي نظريات غير (Freud) التحليل النفسي لفرويد

حقيقية لأنه لا يمكن التأكد من صحتهما بشكل علمي. وحيث لا توجد قاعدة علمية حقيقية لهذه النظريات فإنه متى ما ظهر دليل جديد ـــ كملاحظات اكلينكية جديدة أو أعراض مرضية لا تتطابق مع النظرية كما في حالة فرويد ـــ فإنه يتم تكييف النظرية لاحتوائها وقد يستخدم ذلك بشكل ما لإثبات صحة النظرية بدلا من نقضها. ويجب الملاحظة أنه على الرغم من عدم وجود مقياس علمي تجريبي دقيق للقياس يجعل الحكم على النظرية ممكنا بالنقض أو الإثبات، فإن علماء التحليل النفسي كانوا ولايزالون لهم تأثير هائل على أساليب التفكير الحديث (وهذا بدوره أشمل بكثير من أفكار بوبر).

أثر تفكير بوبر بشكل فعال على تصورنا لما يمكن إعتباره منهجية علمية جيدة، ولكن هذا لا يعني أن أفكاره لم تنتقد. فمثلا انتقد بول فايرابند (Paul Feyerabend) الذي ولد في النمسا أيضاً والذي يعتبر شاباً خارقاً بشكل كبير في فلسفة العلوم موقف بوبرهذا بعنف. وعلى الرغم من تأثره العميق بأعمال بوبر ـحيث كان أحد تلاميذه ـولكنه أصبح لاحقاً واحداً من أشد خصومه. ناقش فايرابند في كتابه ذو العنوان المثير للجدل إلى أقصى حد (ضد المنهج: Against Method) بأن فكرة بوبر كانت تقليدية و حصرية بشكل كبير و لا يمكن

للعلم أن يحرز أي تقدم بإتباع قوانين صارمة. وأشار إلى أنه في معظم الحالات التي حصل فيها تقدم علمي حقيقي لم يكن العلماء الذين قاموا بها يتبعون القوانين الصارمة. ولقد كان شعار فايرابند: "كل شيء ممكن :Anything goes" وهو شعار فوضوي. وحيث أن هذا الكتاب مخصص لعلم الذكاء الاصطناعي وليس لفلسفة العلوم فإننا لن نخوض أكثر في الفكرة البوبرية أو الفايرابندية ونظهرتها إلى العلوم. ولكننا نقترح كما هو مسلم به بأن الحقيقة دائما تقع في مكان ما في المنتصف: حيث أن بعض القوانين والمناهج المقبولة بشكل عام تكون حتمية، ولكن التطبيق الإلزامي والرسمي لهذه القوانين يحبط التقدم. ومن خلال موقفنا على هذه الأرضية المتوسطة سوف ننطلق –عبر هذا الكتاب –لرسم مخططاً لنظرية الذكاء.

يختلف الذكاء الاصطناعي عن العلوم الأخرى مثل الفيزياء أو الأحياء أو علم النفس بأنه دراسة حديثة؛ وليس لها اساس منهجي ثابت حتى الان. فنظرا لتاريخ الحقل القصير نسبيا، وبالنظر الى الخلفية العلمية للحقل وبإعتبارالمسح الفكري الشامل للمجال والى كون طبيعة العلوم المتداخله والمركبة والبينية، لا يمكننا أن نتوقع وجود منهج موحد ومتفق عليه من قبل الجميع. بالأضافة

الى ذلك, يختلف الذكاء الاصطناعي جوهريا عن العلوم الأخرى: لأنه لا يهتم فقط بفهم الطبيعة كما في العلوم التحليلية الأخرى مثل في الفيزياء و الأحياء أو علم النفس أو علم خلايا الأعصاب الدماغية بل أيضاً يهتم بتصميم وبناء الأشياء: بمعنى أنه تركيبي. حيث إن النظرية التي ننشدها لا بد وأن تتضمن هذه التوجهات الرئيسية. وإن معظم نظريات الذكاء التي ذكرناها في مقدمة الجزء الثاني هي تحليلية بمعنى الكلمة ولهذا فانها متناسبة مع معايير بوبر المتزمتة. ولكن تناول العالمان مينسكي ونيويل موضوع الذكاء بخلفية الذكاء الاصطناعي وناقشا موضوع التصميم هذا في نظرياتهما. وعليه يمكننا القول بأن النماذج التي بنيت بإستخدام المنهج التركيبي (البرامج أو الروبوتات) مهمة بحد ذاتها، وليس فقط لكونها نماذج لنظم بيولوجية حيوية. لذا نرى أن التفكير المحدود الذي يدعو إليه بوبر لن ينجح في مجال علم الذكاء الاصطناعي.

في هذا الباب سنناقش المواضيع الآتية. أولاً، سنتحدث عن نوع النظرية التي نهدف إليها، والتي ستكون عبارة عن مجموعة مبادئ التصميم. ثم سنستعرض بعض الاعتبارات الهامة وبعضاً من المبادىء الأساسية التي تشكل إطار العمل العام لنظريتنا.

3.1 مستوى التعميم وأسلوب النظرية

يقدم هذا القسم الصيغ المتنوعة والمحتملة التي ربما نأخذ بها في نظرية الذكاء كما يناقش مخططا لما نطلق عليه مبادئ التصميم. إن المناقشة هنا نظرية ومجردة تماماً، ويمكن للقارىء أن يتجاوزها اذا رغب دون أن يفقد تسلسل الموضوع المنطقي في النقاش. حيث يمكن للقارىء الانتقال مباشرة الى القسم 3.2 والذي يناقش موضوع: " الإمتثال أو المطاوعة - والإختلاف Diversity - compliance".

العديد من الكتب ألفت عن ماهية النظريات وعن الأشكال التي تتخذها في المجالات المختلفة، وعن كيفية ارتباط نماذج معينة مع النظرية. ومثل هذه المناقشات تميل إلى الإطالة والعقلانية البحتة، ونحن لا نرى ضرورة هنا لمناقشتها بالتفصيل. بالإضافة الى كون طبيعة المجال التركيبي والمكون من عدد من العلوم المتداخلة، فإن الكثير من النقاط التي تتم مناقشتها قد يكون من غير المناسب تطبيقها على جميع المجالات. ومن هذا المنطلق سنتحدث فقط عن الأساس النظري الذي يسمح لنا أن نبدأ بإكشاف الذكاء بكل أشكاله، مع إقرارنا بأن فلاسفة العلوم قد يجدوا هذا الأسلوب في التقديم والعرض سطحيا إلى حد ما.

والآن دعونا ننظر بايجاز إلى مستوى التجريد الذي لابد أن تحويه النظرية. بطريقة ما أو بأخرى، ينبغي للنظرية أن تجسد فهمنا لهذا المجال بطريقة محكمة، بحيث يمكن للرؤى أن تطبق لحل العديد من المشاكل في المجال، وأن تكون قابلة للتداول على نطاق واسع. وإننا نتوق إلى أن تصف نظريتنا ليس فقط النمل والجرذان بل أيضا البشر، والروبوتات وربما أنواع أخرى من النماذج الفنية الصناعية كالهواتف المحمولة والسيارات الذكية والقمصان المزودة بالأسلاك الكهربائية.

وحيث أن نظريتنا تغطي نطاقا واسعا من الظواهر المتنوعة، فإننا لا نستطيع التوقع بأن نكون قادرين – بشكل مباشر جدا– على استنباط تصاميم أو نماذج محددة منها. فمثلاً، لا نستطيع التوقع بأن نتوصل إلى شيء مفصل و مباشر من خلال الإعتماد على النظرية مثل (نموذج اللقطة الفوتوغرافية: snapshot model) لنظام بحث النملة أو تصميم لجرو رباعي الأرجل. ولهدف تطوير نماذج ملموسة واقعية، فإن ذلك يتطلب معرفة بيولوجية حيوية وهندسية مفصلة. أما ما ستوفره النظرية هو إعطاء أدلة توجيهة عامة عن الكيفية التى يجب أن نتقدم بها: وهذه التوجيهات، كما سنناقش، ستأخذ هيئة مبادئ التصميم. وإن أحد جوانب هذه

التوجيهات هو استخدامهم للأنظمة الديناميكية الحركية كنماذج مجازية مستعارة. وهذا يتعارض مع الطرق المستخدمة سابقاً في الذكاء الاصطناعي.

وعلى سبيل المثال، كان هربرت سيمون أحد مؤسسي الذكاء الاصطناعي – والذي قدمناه في الفصل السابق – مقتنعاً بأن نظرية الذكاء كانت مثمرة من ناحية معالجة المعلومات واللوغاريتمات، وهذا تراث بقي في مخيلتنا كنموذج إدراكي معرفي. ولكن للأسباب التي أوجزناها سابقاً فإننا لا نعتقد أن هذا الأسلوب الصحيح لتكوين نموذج الذكاء، وأن الطريقة لابد وأن تدمج جانين وهما كما أشرنا في غاية الأهمية لفهم نظرية الذكاء: شرح السلوك (الجانب التحليلي)، وتصميم السلوك (الجانب التركيبي). ومنذ بداية علم الذكاء الاصطناعي فقد هدف الى الفهم من خلال البناء. وتعتبر فكرة صياغة نظرية للذكاء في معالجة المعلومات قديمة وتعود إلى مفهوم آلن تورنينغ الحاسوبي كخاصية أساسية من خصائص الذكاء (تورنينغ، 1950). ومن المهم أن نذكر بأن ماجاء به تورنينغ كان بمثابة سابقة ليس فقط في العمليات الحاسوبية بل أيضاً في مجال مختلف تماما، هو النظم الديناميكية الحركية (وتحديداً في تشكيل أنماط النظم البيولوجية الحيوية (انظر تورنينغ، 1952)، وهذا

يقودنا الى المفهوم المجازي الذي سنستخدمه في محتوى هذا النص.
ولّدت (نظرية الأنظمة الديناميكية الحركية: dynamical systems theory) نوعاّ من الوعي في مجتمعات علم الذكاء الاصطناعي، و (العلوم الإدراكية: cognitive science)، و(علم الأعصاب الحيوي: neurobiology) حلا ومحتملا للهروب من مأزق: الاتجاه (المنهج الإدراكي المعرفي cognitivistic approach). وقد ذكر علنا في خطب ومنصات المؤتمرات العلمية التى عقدت حول العالم (وقد أعلن في أعلى المنابر) بأن نظرية الذكاء (أو الإدراك) لابد وأن تعبر خلال الأنظمة الديناميكية الحركية ،(أنظر مثلاً، المجلد المنقح لبورت وفان جيلدار، 1995م Port and van Gelder). أحد أنواع السلوك المهمة في الأنظمة الدناميكية الحركية غير الخطية هو الفوضى، وغالباً ما يستخدم إصطلاح "نظرية الفوضوية: chaos theory" بدلا من "نظرية الأنظمة الديناميكية الحركية: dynamical systems theory " واعتماداً على مجال الدراسة استخدمت المصطلحات: (الديناميكية الحركية غير الخطية: nonlinear dynamics)، (الديناميكية الحركية المعقدة:

نظرية الفوضوية للتعبير ،(complex dynamics عن ذات الفكرة). وفي الثمانينات والتسعينات نالت الفوضوية مكانة شبه مقدسة، إذا جاز التعبير. وبدء المحترفون في مختلف المجالات العلمية من مدراء ومدرسين وصحفيين وحتى سياسيين في استخدام مصطلحات من نظرية الفوضوية. وأصبح كتاب المشهور الذي عنوانه (Prigogine) بريغوغاين (التنظيم من أجل الفوضوية: Order out of Chaos) شعاراً لهذا الحقل الذي بدأ في الظهور. إن التفسير العام لكتاب بريغوغاين هو أن الفوضوية مكوِّن ضروري لأي نظام يتوقع أن ينتج سلوكا ممتعا ومثيرا. وكذلك حقق الكتاب الترفيهي والمكتوب بإبداع: أفضل (James Gleick) الفوضوية لجيمس قليك المبيعات عالميا مباشرةً فور إطلاقه في عام 1978م. ولقد إمتلىء الجو بالحماس والغبطة لهذه الفكرة بشكل هائلا لوقت من الزمن. وبدأ المدراء "بتنظيم" ورش عمل للفوضوية: و" أدرك" الجميع بأنة ما من شيء جذاب يمكن أن ينتج من شيء ممل، ومن هياكل منظمة البناء بشكل تام. لقد جاءت " نظرية الفوضى" إفتراضيا لشرح كل شيءٍ بدءاً من الإعاصير إلى تغيير المناخ إلى نمو الأحياء الفقيرة المكتظة بالسكان في المدن إلى

ديناميكية وتحركات الجماعات في العائلات إلى إزالة الأحراش في إفريقية وحتى الى تطور الشيزوفرينيا ثم إلى... الإدراك! ولقد سُئل الفيلسوف تيم فان جيلدار (Tim van Gelder) "ماذا قد يكون الإدراك إذا لم يكن عمليات حاسوبية؟". وأجاب على ذلك في بحثه المهم (فان جيلدار, 1995) بأن علم الديناميكية أوالحركية هو العامل المفقود الذي يمكن إضافته لهذه المُرَكِبَاتْ، وفي بحث اخر ناقش كيف يكون علم الديناميكية أو الحركية قادراً على شرح الإدراك.

في علوم الدماغ – والعلوم الادراكية – ظلت الفوضى والأنظمة الديناميكية من المواضيع المهمة منذ الثمانينات عندما نشرت آغنيسا بابلويانتز (Agnessa Babloyantz) وزملاؤها موضوعاً عن ديناميكية الدماغ الفوضوية خلال النوم (بابلويانتز: 1985). كما و ناقش كريستيان سكاردا (Christine Skarda) وولتر فريمان (Walter Freeman) في بحثهما الإبداعي الهام: "كيف يصنع الدماغ الفوضى ليستوعب العالم: How the brain makes chaos to make sense of the world " بأن الفوضى في الحقيقة قد تكون نافعة جداً للدماغ (سكاردا و فريمان: 1987) – وبالتالي يمكننا أن نضيف أنها ستكون نافعة

أيضا للذكاء. فمثلاً، نوقش ذات مرة بأن النشاط الفوضوي الذي يحدث في الدماغ كتحركات الخلايا العصبية الدماغية يضفي على البشر والحيوانات صبغة التكيف إلى أبعد الحدود: بحيث يستجيبوا مباشرةً للتغيرات في بيئتهم (في مراجع إضافية، لمزيد من التفاصيل انظر فى موضوع الديناميكية الدماغية والأنظمة الديناميكية، (لبازار، Basar: 1990)، وكانيكو وتسودا، Kaneko and Tsuda: 2001 – كيلسو، Kelso: 1995). وسنناقش في الفصل العاشر مثالاً على النشاط الفوضوي في الدماغ: المنطقة الدماغية المسؤولة عن حاسة الشم عند الأرانب والمعروفة بإسم (المصباح الشمي: olfactory bulb).

على الرغم من أن الاهتمام الذي حظيت به الأنظمة الديناميكية الحركية في الثمانينات والتسعينات فقد اضمحل بشكل كبير إلا أن الفكرة الأساسية لا زالت مهمة. وأدى إلى التقدم البطيء نسبياً في مجال علم الديناميكية الحركية المعقدة وقد يعود ذلك إلى أن التكوينات والمعادلات الرياضية متقدمة ومعقدة جداً وتتطلب مهارات عالية. والنقطة التي ينبغي علينا الإشارة اليها هي أن الطريقة التي تُستخدم بها نظرية الأنظمة الديناميكية الحركية يغلب عليها حالياً طابع يجعلها تبدوا

كأداة تحليلية، وهذا لايكفي لفهم الظاهرة في الأنظمة الطبيعية، أو لتصميم منتجات صناعية واقعية؛ وبعبارة أخرى، أن الجانب التركيبي غائب تماماَ. وعلى أي حال، وحيث إننا نجد أن الفكرة المجازية الإستعارية للأنظمة الديناميكية الحركية مثيرة وبديهيةً جداً –وبما أنهاتساعدنا على التفكير وبناء بديهة وتكوين أسئلة بحثية عن الكائنات الذكية –لذا سوف يتم إستخدامها بكثرة عبر الكتاب.

وختاماً فإنه لا يوجد إطارمفصل نستطيع ببساطة أن نعتمد عليه ونستخدمه لنظرية الذكاء. لذا فنحن نبحث عن تركيبة أو تنصيب ما يمكننا الإعتماد عليه ليجلب لنا، بشكل ما، الأفضل في كل هذه العوالم: فالعنصر التحليلي يكون لفهم الكائنات الطبيعية البيولوجية والكائنات الاصطناعية، والعنصر التركيبي لتصميم وبناء النظم، وكذلك النظم الديناميكية الحركية المجازية الإستعارية تستخدم لتطوير الأفكار والحصول على الإلهام اللازم لمعرفة السلوك الذكي بشكل عام. وإننا نشعر أن بإستطاعتنا دمج هذه العناصر جميعاً عندما نبدأ بصياغة النظرية كمجموعة من مبادئ التصميم.

إن صميم منهجنا لموضوع الذكاء هو مجموعة مبادئ التصميم والتى تمثل بدورها من ناحية المكونات الرئيسية

لنظرية عامة للذكاء ومن ناحية أخرى تقدم أساليب اجتهادات هندسية قوية لتصميم منتجات صناعية ذكية. هناك أسباب عدة لصياغة نظرية الذكاء من خلال مبادئ التصميم. أولاً: إنها تعتمد على المنهج التركيبي بصورة مباشرة؛ أي تعتمد على فكرة الفهم من خلال البناء، ولذلك يضفون عليها الطابع الهندسي في المجال. كما أنها تستخدم الطرق الاجتهادية لبناء النظم الفعلية وفي ذات الوقت فهي تشخِّص وتصف النظم الطبيعية البيولوجية الحيوية أو النظم الإصطناعية. ثانياً: إن العديد من الأفكار يمكن الحصول عليها من دراسة (المفهوم التطوري الطبيعي: natural evolution): فمن الممكن النظر إلى المفهوم التطوري على أنه (مُصَمَّم قوي: powerful designer)، وإن يكن أعمى كما يشير إليه عالم الأحياء التطورية ريتشارد داوكينز (Dawkins Richard) في كتابه (صانع الساعات الأعمى: The Blind Watchmaker) عام 1986. حاليا لقد تم دمج التطور الاصطناعي (بالاضافة الى الذكاء التجميعي والذكاء التطويري) ضمن مجموعة أشمل من مبادئ التصميم من تلك التي أوجزناها في كتابنا: (فهم الذكاء Understanding Intelligence) 1999 م. ونأمل أن نقنع القارئ بأن

وجود مبادئ لتصميم وفهم الذكاء وأنظمته تعد فكرة جيدة؛ وأن الباحثين الموهوبين من الشباب سوف يتبنون الفكرة ويطورون المبادىء ويحدثونها ويضيفوا اليها لتصبح مجموعة المبادىء بشكل عام أكثر تناغما وشمولية. ثالثاً: (وربما علىدرجة أقل من الأهمية) تشير مبادىء التصميم في وضعها الحالي الى أن النظرية لازالت غير رسمية. هذا وأن مجموعة المباديء غير نهائية وليست كاملة ولكنها قابلة للتعديل عندما تبرز أفكار ورؤى جديدة. ونحن مقتنعين بأهمية مبادئ التصميم كقوة إرشادية موجهة. بل وأكثر من ذلك، فهي تدعم الطبيعة التركيبية لعلم الذكاء: إنها تمكننا من تنفيذ البحث العلمي بصورة جيدة من خلال الهندسة، إذا جاز التعبير. وعلى أي حال فنحن لانعلم الآن إن كانت مبادئ التصميم التي نعتمد عليها ستبقى أم أنه سيتم إستبدالها ببعض النظريات الأخرى.

لقد نظمنا مبادئ التصميم بناء على وجهات النظر الزمنية الثلاثة بسبب الإختلاف الرئيسي في طبيعة العمليات التى ينطوى عليها كل مستوى. وأكثر من ذلك، فقد أضفنا أيضا ًمنظور الذكاء التجميعي – على نقيض المنظور الفردي– كمجموعة منفصلة من المبادئ لأن وجهتي النظر هاتين تقدمان تصورين مختلفين لتحديد هذا

المجال. لذا فإن الفصول القادمة ستناقش مبادئ التصميم العامة المتعلقة بمنظور "هنا والآن[28]" (الباب الرابع)، والأنظمة التطويرية (الباب الخامس)، والمفهوم التطوري للأنظمة (الباب السادس)، والذكاء التجميعي .((الباب السابع

بالإضافة إلى ذلك، ولكي نطبق مبادئ التصميم كما يجب، تتضمن هذه النظرية مجموعة عامة أو متقدمة من المبادئ والإعتبارات التى توفر الإطار أو السياق الذي من خلاله يتم التخطيط أو التحليل؛ وهذا ما يركزعليه هذا الفصل. أولاً: علينا أن نصف الفئة العامة للظاهرة التي ستغطيها النظرية، والتى سنوجزها باستخدام افكار متممة لخاصية الإمتثال أوالمطاوعة والإختلاف. ثانياً: من المهم أن نكون واضحين إلى ما نشير إليه عند استخدامنا لمصطلح الذكاء: بمعنى هل سنتكلم عن شيء ما حدث بالحيوانات أو الروبوتات؛ أم هل هو شيء ما نرجعه نحن كمراقبين أو مصممين إلى الحيوانات أو الروبوتات ولكنه في الواقع يكمن في عقولنا فقط؛ أم تراه قد يكون مزيجاً من هذين الاثنين معا ؟ هذه هي مسألة الإطار المرجعي السيئة السمعة. وثالثاً: يجب علينا أن نحدد كيف سنتطرق إلى الموضوع التقدم البحثي، وأن نحدد أيضا ما يمكن إعتباره منهجا سليما وواضحا للبحث. إننا نجزم بوجود

عدد من المكونات الضرورية لطريقة العمل هذه: هنالك المنهج التركيبي، والذي يقضي بأننا نستطيع التعلم من خلال بناء كائنات ذكية، وليس فقط دراسة المتوفر منها. كما أن هناك الأُطر الزمنية الثلاثة التى من خلالها ندرس، ونصمم، ونبني الأنظمة: مقياس "الآن وهنا" (ويحدد ما يفعله الكائن في حالة محددة)، (مقياس التطور الجيني ontogenetic time scale) :و(يحدد عبر الزمن العمر الزمني للكائن الفرد)، أو (المقياس التطوري: evolutionary time scale) ويختص بأجيال الكائنات). وأخيراً: بإمكاننا أن ننتج تفسيرات قوية من خلال مفهوم السلوك غير المبرمج كما سنسهب في شرحه لاحقا. وبمجرد إجابتنا لهذه الاسئلة سنشمِّر عن أكمامنا ونستعد للعمل على مبادئ التصميم.

3.2 الإستجابة والتنوع : (Diversity – Compliance)

ربما تكون قد خمنت الآن بأن التعريفات ليست ذات أهمية لنا: لذلك سوف لن نحاول تعريف الذكاء. ولكن ما سنفعله هو وصف مانتصوره بديهياً على أنه الذكاء. وكما أوجزنا، باختصار، سابقا في الباب الأول، أن الكائنات الذكية يمكن وصفها من ناحية بأنها (تمتثل / تستجيب وتطاوع تستخدم / تستغل :comply and

لظروف أماكنها البيئية الملائمة، ومن ناحية (exploit أخرى فهي تُظهر سلوكا متعددا ومتنوعا.

اللغة وعلم :(Soft Rules) القواعد المعتدلة طبيعة الجمال

سنقدم هنا شرحا حول الإمتثال - والإختلاف. ولكي أشارك في الحوار كان يجب – على الأقل الى حد ما– أن أتقن قواعد اللغة الإنجليزية: وأن أستجيب أو أتقيد بقواعد هذه اللغة. وحين أتقن قواعد اللغة أستطيع عندها استخدامها لتوصيل أفكاري والإستجابة بطرق متنوعة. نظريا أستطيع أن أنطق عددا غير محدود من الجمل وان أوصل أي مضمون أحبه. ولكن عندما أكرر نفس العبارات؛ لنفترض مثلاً "لا بد أن نأخذ التجسيد بعين الاعتبار" دون اكتراث لما يقوله الشخص الآخر في المحادثة، فإن سلوكي لا يكون متنوعاً جدا، وبديهيا فإنك سوف لن تعتبرني ذكياً جداً (للأسف أُتهم الكاتب – رولف – بفعل ذلك في أكثر من مناسبة). الجانب العكسي هو نطق عبارات صحيحة من ناحية قواعد اللغة ولكنها عشوائية وخالية من المضمون. فبالرغم من أن الصياغة العشوائية ممكن أن تلاحظ كفعل متنوع – حيث تكون دائماً مختلفة – إلا أنها لا تعتبر بديهياً سلوكاً ذكياً. وتعد اللغة الطبيعية مثالا واقعيا جميلا لتوضيح أن الكائنات

الذكية تظهر خاصية الإستجابة - والتنوع. وهذه بدورها تظهر لنا أنه بإمكان الكائنات الذكية إنتاج التنوع القوي في السلوكيات بمجرد إستجابتها وإستخدامها للقواعد المعطاة: تخيل أنماط وعدد أساليب وطرق التعبير وما يمكن أن يُعبر عنه من خلال إستخدام اللغة الطبيعية!

وهناك مجموعة أخرى من "القواعد" التي من الممكن أن يستجيب لها البشر لكي ينتجوا نماذج متنوعة ومبتكرة من التعبير هو الفن. وبإمكانك أن تصنع رموزا وخطوطا بشكل عشوائي على ورقة ما لم ينتج ولن ينتج مثلها أحد على وجه الأرض، ولكن لن يجدها الناس من حولك شيئاً مثيرا جداً إلاّ إذا تم على الأقل إمتثالها ولو لبعض القواعد – وإن كانتهذه القواعدمبهمة وعلى نحو لا يمكن إنكاره – في علم الجمال مثلا. ولكنك عندما تتقن هذه القواعد فإنك تستطيع استخدامها لإنتاج قطعُ جمالية قد تنال إعجاب الناس ويعتبرونها أعمالاً فنية رائعة. إن قواعد علم الجمال و قواعد اللغة عبارة عن أعراف وعادات اجتماعية وبإمكاننا أن نختار هجرها والتخلي عنها. والقضية التى تناقش هي ان كان من الحكمة أن نفعل ذلك أو لا فهو موضوع آخر، الا أننا لدينا على الأقل الخيار بإتباع هذه القوعد أو رفضها وهذا ما يجعلها تدعى بالقواعد "المعتدلة".

قوانين :(Hard” Rules“ "القواعد "الصارمة) الفيزياء

إن الأمثلة التى استخرجت من المجالات المختلفة إلى حد الآن جاءت نتيجة لقواعد متغيرة و ليست ثابتة أو صلبة كالصخر. وعلى أي حال، أن هناك على الأقل مجموعة واحدة من القواعد التي لا يمكن تعديلها: قوانين الفيزياء. وبعبارة أخرى لا يوجد لدينا خيار بين الإستجابة لها أورفضها؛ وإنما يوجد هناك فقط خيار وحيد وهو أي القواعد لابد أن نمتثل لها لكي نحقق هدفا معيناً. فمثلاً عندما نسير، نحن نستجيب لقوانين الجاذبية والاحتكاك، ولكننا لا نستجيب لقوانين الموجات الكهرومغناطيسية، بينما نستخدمها في رؤية ما نفعله. وفي مجالات مثل اللغة والفن فإنه بإستطاعتنا أن نتجاهل جميع القواعد والقوانين. فعلى سبيل المثال، بإمكاننا أن نثرثر بغير ترابط وأن نصنع رموزا وخطوطا بشكل عشوائيً إذا قررنا ذلك، ولكن ليس بإمكاننا إيقاف جهد قوة الجاذبية على أجسامنا.

إذاً، فخاصية الإستجابة - والتنوع تقتضي بأن الأنظمة التي نعتبرها بديهياً ذكية، يبدوا أنها تتجه نحو تطبيق الإستجابة إلى مجموعة القوانين مثل قواعد علم اللغة، وعلم الجمال وعلم الفيزياء وذلك قبل أن نتمكن من

إستخدام هذه الأنظمة لأغراض معينة. ولفهم هذا التصور التجريدي النظري بصورة أفضل، دعونا نأخذ بعين الاعتبار بعضاً من الأمثلة الإضافية. خذ صخرة على ضفاف النهر: فإنها تكون مستقرة على الأرض ومن وقت لآخر تدفعها إلى الأمام المياه. إن سلوكها يكون مقيدا بقوانين علم الفيزياء، ولكنها لا تستخدم هذه القوانين لأي غرض آخر؛ حيث أنها تقبع ساكنة وبدون حركة في مكانها هناك. وأيضاً فإن سلوكها لا يكون متنوعاً بشدة: حيث أن هناك فقط تحركات صغيرة، عشوائية متقطعة، نتيجة لجريان الماء. ومن البديهي أنه لا أحد منا يعتبر الصخرة ذكية جداً. وينطبق السناريو ذاته على ذرة من الغاز: إنها تستجيب لقوانين الفيزياء على الرغم من أن مسارها أكثر تعقيداً بكثير من مسار الصخرة في النهر، وهذا لايزال غير مشوق، لأنها في ذات الظروف ستتحرك دائماً في ذات المسار وتكرر تصرفها مرارا. ولكن بمجرد ما يبدأ النظام بالتصرف بأساليب غير متطابقة وليست عشوائية في ذات الوقت، عندها فقط تصبح الأمور أكثر إثارة وتشويقا.

بديهيا نحن نطلق صفة "الذكاء" على نظام مزود بقدرات حركية وإستشعارية حسية، أي إذا كان لدى الكائن هذه المميزات، فإنه حينها سيستخدم أجهزة

إستشعاره، وجسمه، وأذرعه وأرجله أو زعانفه ليستفيد من البيئة لتحقيق أغراضه المختلفة. فعلى سبيل المثال: إن روبوت السباحة المزود بأجهزة إحساس للتوجه نحو الضوء قد يسبح باتجاه مصدر الضوء حتى وإن كان ذلك يستوجب السباحة ضد إتجاه التيار السائد: أي أنه لا يجب عليه فقط أن يجري مع إتجاه تحرك تيار الماء. وبالتالي، فإن الكائنات تستطيع استخدام القوانين الفيزيائية بعدة طرق مختلفة: الاحتكاك والجاذبية للسير، الشرب وحتى الكتابة، ديناميكا السوائل أو التحركات السلسة في السباحة، القوى الكهرومغناطيسية للرؤية، انتشار الصوت والاهتزازات أثناء التحدث والاستماع؛ والقائمة تطول. ومن ناحية أخرى فإن القدرات التي تستخدمها الحواسيب للتعامل مع البيئة محدودة جدا، هذا اذا اعتبرنا أن الحواسيب تتمتع بشيء من هذه القدرات أصلا. وعلى الرغم من قدرة الحواسيب المهولة في تنفيذ العمليات الحاسوبية، فإن قدرات و طاقات الحواسيب لاتزال عاجزة تماما في هذا الاعتبار لأنه لا توجد بها أنظمة حركية ولا أجهزة إحساس فعلية خاصة بها.

دعونا ننظر إلى مثال عينيٍ آخر مأخوذ من تطبيقات علم الروبوتات. في صباح يوم ما أخذ الكاتب استراحة قصيرة، للمشاركة في منتدى طوكيو العالمي وزيارة

معرض خلق المستقبل": Creation Fair Future" والذي يقع في قلب مدينة طوكيو وهو أعجوبة معمارية رائعة. لقد كان هدفنا –بالإضافة إلى إراحة أذهاننا المرهقة – هو مشاهدة عرض عن أكثر الروبوتات المتقدمة تقنياً في العالم والشبيهة بالإنسان، (أسيمو: Asimo)، الذي طورته شركة هوندا العملاقة للسيارات والدراجات النارية. ولقد أطلق هذا الاسم على الروبوت تيمنا بإسم كاتب الخيال العلمي الخصب المعروف (إسحق أسيموف: Isaac Asimov)، الذي استكشف ما قد تكون عليه المجتمعات المستقبلية حيث يتعايش كل من البشر والروبوتات سويا: حيث كان لفيلم الحالي "آي - روبوت: I Robot " مستلهماً من عمله هذا. والسؤال الآن هو كيف يفوز أسيمو إذا تم تقييمه على أساس خاصية الإستجابة – والتنوع؟ أن باستطاعته أن يقدم سلوكاً متنوعاً كالسير فوق ارض مسطحة، وصعود وهبوط السلالم، والتلويح بيديه والرقص قليلاً، كما يمكنه الإمساك بالطرود وحملها والاتصال بالإنترنت. كما أنه يستخدم أيضاً علم الفيزياء بدرجة ما وخصوصاً في الاحتكاك والجاذبية–وبدون هاتين القوتين فإن قدرتة على السير لن تكون ممكنة. ولأن أسيمو يتمتع بخاصية عالية نسبياً في تنوع السلوك مقارنة بالعديد من الروبوتات

الأخرى، أصبح المفضل عند الإعلام (وبالطبع فإن مظهره الهادئ يساهم في ذلك). وبينما يمكن إستيعاب خاصية التنوع السلوكي بديهيا بسهولة، فإن استخدام وإستغلال المعطيات هي فكرة أقل وضوحا؛ وكما سنرى في الفصل الرابع بأن البشر لا يملكون سلوكاً أشد تنوعا من جميع الروبوتات الحالية فحسب بل إن البشر يستخدمون معطيات بيئتهم بطرق أكثر ذكاء.

لاحظ أنه لكي تستخدم وتستغل معطيات بيئة محددة، فإنك لا تحتاج بأن تعلم أنك تفعل ذلك. إننا نحن من علماء ومراقبين الذين يحق لنا القول بأن الأسماك تستخدم ديناميكا السوائل أو التحركات السلسة، ولكن الأسماك لا تعلم أنها مستفيدة من ذلك البته – على الأقل نحن في حدود علمنا نعتقد أن الأسماك ليست لديها معرفة بشيء عن ذلك. وبشكل مشابه فإن أسيمو لا يعلم أنه يستغل قوانين الإحتكاك والجاذبية، ولكنه يفعل ذلك. وكذلك نحن البشر ربما ندرك أو لا ندرك أننا نستغل بعض الجوانب في قوانين الفيزياء (أو اللغويات أو قوانين علم الجمال). فمثلاً، عند كتابة قصيدة شعرية قد تدرك أنك استخدمت عبارة منمقة ومحددة لتأكيد نقطة قيمة، ولكن هل لاحظت قط أنه عندما تسير فأنك لا تستخدم عضلاتك لتمد الجزء السفلي من ساقك قبل وضع قدمك على الأرض، بل أن

الجاذبية هي التي تقوم بالعمل اللازم لذلك؟ وهكذا فأنت تستغل قوانين الفيزياء للتحريك سواءً فطنت لذلك أم لا.
أحد التضمينات الممتعة لخاصية الإستجابة – والتنوع في السلوك هو أنه يرغمنا على تبني مفهوم ذوصبغة استمرارية في الذكاء بدلا من النظر اليه كخاصية ثنائية (أن الكائن إما ذكيً أو لا). أولاً: قد يكون الاستغلال أو الإستخدام أكثر أو أقل تطورا: فمثلاً يستطيع الكائن أن يكون فقط سلبيا وساكناً كالصخرة على ضفاف النهر أو لديه إمكانية لإستغلال قوانين الاحتكاك والجاذبية عند السير؛ أو بإمكانه استغلال مدى إنتشار نطاقات الكهرومغناطيسية للرؤية وموجات الضغط لمعالجة الصوت؛ وجميع هذه الظواهر يمكن إستغلالها بدرجة أعلى أو أقل.

الثبات – والمرونة: Stability - Flexibility

انطلقت خاصية الإستجابة – والتنوع للسلوك بمظاهر وهيئات متعددة في مجالات علمية مختلفة، مثال على ذلك: (نظرية بيجيه للتكيف والإستيعاب Piaget's theory of accommodation - assimilation)، المرونة والثبات في نظرية التعلم، و(المفهوم التطوري للاستغلال والاستكشاف:

evolutionary concept of exploration - exploitation).

كما أشار أخصائي علوم الأعصاب الدماغية البارز ستيفن غروسبيرغ (Steven Grossberg) إلى أنه توجد في التعلم :trade - off) موازنة (بين المرونة والثبات. فكلاهما جانبين في نظريته القوية (التصنيف المعرفي: category learning) والمعروفة بإسم (نظرية التكيف الرنيني: adaptive resonance theory) (ART) انظر كاربنتر وغروسبيرج:) 2002م، Carpenter and Grossberg). ومن خلال التصنيف المعرفي يتمكن الكائن من إيجاد فروق جديدة في العالم الحقيقي الواقعي، كالفرق مثلاً بين ما هو طعام وما هو غير طعام، أو في حالة الروبوت فربما يكون قادراً على التفريق بين الأنواع المختلفة من الأجزاء التي يمكن تجمّيعها وتركّيبها في المصانع مثلا. ويعتبر التصنيف أو التمييز واحداً من أهم القدرات الرئيسية الإدراكية: إذا لم تستطيع التمييز في العالم الواقعي الحقيقي بين الأشياء، فإنك فلن تحيا لفترة طويلة، والروبوت الذي لا يكون قادراً على تصنيف الأشياء لن يكون مفيدا جداً.

دعونا ننظر إلى مثال في التصنيف المعرفي. قد يستطيع طفل أن يشكل فئات أو أنواع معينة للتفاح، مثل ماكنتوش (Macintosh)، اللذيذة والذهبية (Golden Delicious)، آيديرد (Idared) ثم قد يصادف نوعاً جديداً من التفاح لأول مرة مثل: تفاح جراني سميث (Granny Smith). ويكون السؤال هل يجب عليه أن يدرجها ضمن واحدة من القوائم الموجودة لديه أم أن عليه أن يشكل قائمة أخرى جديدة؟ وماذا لو صادف الطفل تفاحة حامضة وصغيرة جداً ؟ وماذا لو واجه كمثرى لأول مرة؟ لكي تكون التصنيفات والقوائم نافعة لابد أن تحتوي على معامل ثبات خاص ولكن أيضاً ينبغي أن تكون مرنة في ذات الوقت بحيث يتمكن الكائن من التكيف وتعلم أشياء جديدة.

عندما نتعلم، فإننا نريد أن تكون التصنيفات التى نعرفها هي التي ترشدنا إلى تفسير العالم؛ وبعبارةٍ أخرى نرغب في الإستجابة – والتنوع بما هو معروف لدينا. على أى حال، نحن نرغب أيضاً بأن نكون قادرين على أن نتعامل مع الأنواع المبتكرة أو الحديثة للمحفزات الاستشعارات الحسية التي لم نجربها من قبل، ربما بإنشاء تصنيفات جديدة، وبذلك فإننا نزيد من التنوع

السلوكي لدينا. وعندها نستطيع أن نتفاعل ونستجيب بشكل متنوع تبعا للأوضاع المختلفة.
وهذه الأفكار قريبة مما اقترحه في التمييز عالم النفس السويسري الشهير جين بياجيه (Jean Piaget)، الذي إستخدم مصطلح التكيف والإستيعاب للظواهر المشابهة والتى قدمها غروسبيرغ (Grossberg) في وصفه للإدراك (بياجية: 1963).

الاستكشاف و الاستغلال: (Exploration - Exploitation)

الإستجابة – والتنوع سلوكا لا يقتصر على كائنات محددة ولكنه ينطبق بشكل عام على مجموعات الكائنات الكونية أيضاً. وفي مفهوم النظرية التطورية، فإننا نتكلم عن الموازنة بين الاستغلال والاستكشاف: فمن ناحية نرغب في الاستفادة مما تم اكتشافه من قبل في المفهوم التطوري ونبني عليه مايستجد، ومن ناحية أخرى نرغب أن نجعل الخيار مفتوحا لتطوير السمات الجديدة. ويقتضي الاستغلال تحسين سمة محددة، مثل قوة وضوح الرؤية أو القدرة على إصطياد الغزلان أثناء جريها السريع. على النقيض من ذلك، فمن خلال الاستكشاف، قد تظهر سمات جديدة. فمثلاً: عندما بدأت الكائنات الحية العيش في البيئة المائية وفي المقام الأول الأسماك،

الخياشيم "abandoned: استعمرت الأرض، "هجرت الرئتين. (وإن الغرض من "invented: و"أخترعت استخدامنا لعلامات الاقتباس هنا لنشير إلى أن الهجر والإختراع في المفهوم التطوري لا يحدث عمداً) وسنكشف المزيد عن هذه الموازنة في الباب السادس لاحقا.

والخلاصة: يبدو أن الإستجابة– والتنوع طريقة جيدة لوصف الأنظمة بالصورة التي نعتبر بها هذه النظم ذكية بالبديهة. كذلك تمكننا من النظر الى الذكاء كمفهوم استمراري بدلا من فكرة الذكاء كونه كل شيء او لا شيء، كما تظهر لنا أيضا أن مقارنة "مستويات الذكاء: intelligence levels of" بصورة مباشرة، غير ممكنة أو معقولة. وعلى سبيل المثال، إذا إستغل كائنان نواحٍ مختلفة من بيئتهما لأغراض مختلفة –فالأول إستغل خاصيٍة ضغط الموجات للإستفادة منها في الكلام، والثاني إستغل الموجات الكهرومغناطيسية لإستخدامها في القراءة –فإن المقارنة المباشرة لمستوى ذكائهما لن تسفر عن أي فائدة.

3.3 الإطار المرجعي: (Frame of Reference)

كما أسلفنا، بإمكان الكائنات استغلال القوانين الفيزيائية حتى لو لم تكن واعية بوجودها. والذكاء، من هذا المنطلق، لم يعد خاصية أو صفة يمكن إمتلاكها من قبل الكائن أو الدماغ أو التطور، بل بالأحرى يكمن في عين الناظرالذي يلاحظ تطبيق الإستغلال، إذا جاز التعبير. وهذا يقودنا إلى المشكلة العامة التالية التي تكشفها دراسة الذكاء: والتي يطلق عليها مسألة الإطار المرجعي.

إن مشكلة الإطار المرجعي، والتي تهتم بالمنظورات التي يمكن تبنيها عند مراقبة أو تصميم الكائنات تشمل أنه ينبغي علينا أن نكون في منتهى الوضوحية عند المراقبة وفي الكيفة التى نترجم بها ما تم رصده. لقد ظهر الإلهام المبدئي لهذه الفكرة أولا في كتاب هيرب سايمون (Herb Simon) الإبداعي: (العلوم الإصطناعية: The Sciences of the Artificial) الذي قدم فيه النادرة القصصية للنملة لتي تسير على الشاطئ (سايمون: 1976). كما ناقش سايمون بأنه من وجهة نظر المراقب، إن وصف الطريق أمام النملة معقد جدا، وذلك لأنها تسير حول برك صغيرة موحلة، وصخور، وأغصان وحصى. ولكن من وجهة نظر النملة، فإن الميكانيكية أو الآلية التي أدت إلى أن تسلك النملة هذا الطريق قد تكون بسيطة جداً مثلاً "فإذا

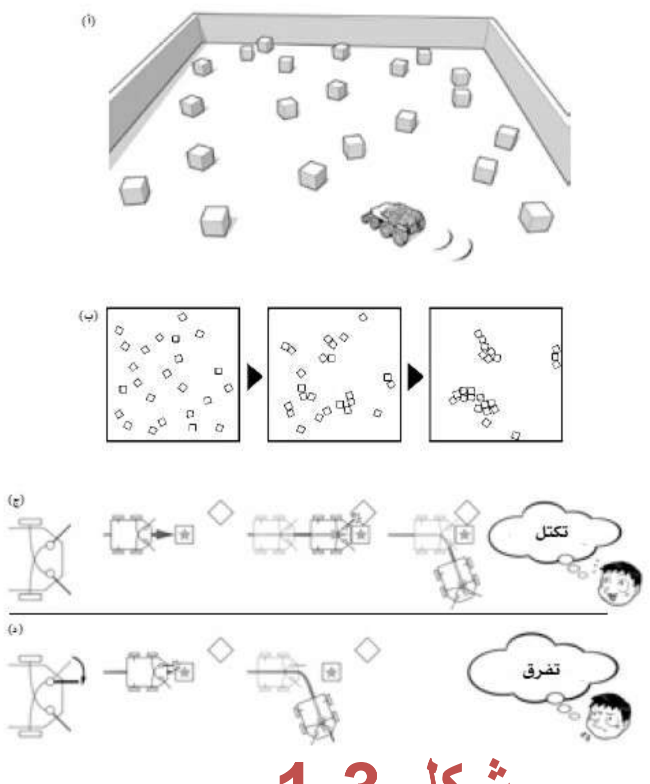
كان العائق على اليمين عندها إتجه نحو اليسار" أو "إذا كان العائق على اليسار عندها إتجه نحو اليمين" ومن ثم " إسلك مباشرةً في خط مستقيم". وإن الطريق النهائي لمسار النملة ينتج من خلال تفاعلها مع البيئة؛ وفي هذه الحالة، الشاطيء. فالنملة ليست لديها معرفة أو معلومة عن أي شيء ويشمل ذلك الحصى والأغصان و الصخور ولكنها تنجح تماما في إيجاد طريقها المحدد. (أنظر أيضاً فيفر وشيير، 1999 ،Pfeifer and Scheier).

مثال توضيحي: الربوتات السويسرية:

دعونا ندرس مثالا كلاسيكيا عن " الربوتات السويسرية: Swiss robots " ببعض التفصيل.

الربوتات السويسرية هي مجمو عة من الربوتات البسيطة التي بنيت في مختبر الذكاء الاصطناعي في جامعة زيورخ عام 1990م من قبل عالم دراسة سلوك الحيوانات رين تي بوكهورست (Rene te Boekhorst) والمهندس مارينوس ماريس (Marinus Maris) (ماريس وتي بوكهورست: 1996). فقد تم تزويد كل روبوت بمحركين، واحد على اليسار والآخر على اليمين، وزود بجهازين استشعاريين للأشعة تحت الحمراء في الأمام، أحدهما في الجانب الأمامي الأيسر والآخر في الجانب الأمامي الأيمن (أنظر

(IR) الشكل 3.1). إن استشعارات الأشعة تحت الحمراء تعطي قياسا تقديريا للمسافة من خلال إرسال إشارة وقياس شدة انعكاس هذه الإشارة عن الجسم: وكلما إقترب الجسم تزيد شدة الإنعكاس (أنظر شكلي ج و د في 3.1). إذا أطلقت ثلاثة أو أربعة ربوتات سويسرية في منطقة وزعت فيها مكعبات (الستيروفوم: Styrofoam) توزيعاً عشوائياً، فإن المكعبات في نهاية المطاف بعد خلطها ستنتظم في تكتلات يبلغ عددها إثنين أو ثلاثة، وكمية قليلة جدا من المكعبات سيتم دفعة في إتجاه الجدار. قد يبدو الأمر للمراقب بأن المكعبات تتشكل في تكتلات، وكأن هدفها أن تقوم بعملية تنظيف في المنطقة، أو تكوِّن مساحات خالية في المنطقة. ولكن دعونا الآن ننظر إلى العالم من خلال"عيون" هذه الربوتات السويسرية.



شكل 3-1

الإطار المرجعي: "الروبوتات السويسرية".)أ(منطقة تحتوي على مكعبات الستيروفوم، موزعة توزيعا عشوائيا.) ب(سلسلة من الصور تعرض مراحل التكتل.)ج(شرح تخطيطي يفسر لماذا يحدث التكتل. يوضح الرسم التخطيطي كيف يتجمع المكعبان مع بعضهما.)د(تغيير الشكل: تم تحريك جهاز الإستشعار الأمامي الموجود في جهة اليسار، إلى مقدمة الروبوت. فعندما يستشعر الروبوت إمكانية الإصطدام بعائق)مكعب(أمامه، سوف يقوم بتحويل طريقه، بدلا منإزالة ذلك العائق)المكعب(، وبالتالي لن يحدث أي تكتل. على الرغم من أن برنامج تحكم الروبوت لم يطرأ عليه أي تعديل)"حول بعيدا عند تحفيز جهاز الإستشعار"(، زكذلك بقيت البيئة على حالها، ولكن سلوك الروبوت اختلف.

تكتل

لقد تمت برمجة الروبوتات بحيث يُحَفَّز جهاز الاستشعار عندما يستقبل إشارة من أحد الجانبين – كأن

يوضع جسم ما أو جدار أو روبوت آخر قريباً من هذا الجانب من الروبوت الذي يحوي على الإستشعارات – عندها سوف تتحرك الروبوتات إلى الاتجاه المخالف. أما إذا لم يحدث أي تحفيز من كلا الجانبين، فبكل بساطة سوف تتجه الروبوتات الى الأمام في خط مستقيم. إن الروبوتات لا تعرف شيئاً عن التنظيف، أوعن تجنب مكعبات الستيروفوم، أو حتى ماهية مكعبات الستيروفوم؛ إنها بكل بساطة تتفاعل بطرق محددة بناء على مستويات التحفيز التى يتم إستشعارها. إن هذه الروبوتات لا تتوقى حتى العوائق: ونحن فقط كمراقبين نترجم تحركاتها فنقول أنها تتجنب تلك العوائق. فالعالم كما تراه الروبوتات السويسرية يتكون فقط من محفزات استشعارية مثبتة على اليمين و اليسار.

ولكن إذا كانت الروبوتات مزودة فقط بجهازين لرد الفعل، فكيف يكون ممكنا أن يتم تشيكَل هذا التكتل؟ تتم هذه التجمعات لأن جهازي الاستشعار وضعا كما يجب في المكان الصحيح متباعدين بشكل كاف بحيث لو واجه الروبوت مكعباً أمامياً، فإنه لا يرسل لأي من جهازي الاستشعار إشارة (ليحدث تحفيزا)؛ لذا بكل بساطة يتحرك الروبوت نحو الأمام دافعاً بذلك المكعب المواجه له. وعندما يصادف مكعبا آخر بحيث يكون على جانب

الروبوت، فإنه ينعطف تاركاً المكعب بجانب المكعب الآخر. وهكذا فإنه عندما تتكرر هذه العملية تؤدي إلى حدوث التكتل (إنظر، الشكل1.3).

إن الروبوتات السويسرية لا ترى مكعبات الستيروفوم، لأن عالمها يتكون من "محفزات استشعارية على اليمين" و " محفزات استشعارية على اليسار". ويجب أن نكون حذرين بأن لا نجعل إستيعابنا للعالم الحقيقي الواقعي موجها نحو الكائنات التى نراقبها أو نحاول أن نبنيها. ولنتذكر تحذير ماكفارلاند (McFarland): " الفخار، هو داء عضال: Anthropomorphization, the incurable disease ". ولعل تجنب هذا الفخ عند تركيب وبناء الكائنات أكثر سهولة من تجنبه عند دراسة الكائنات الحية، لأننا كمهندسين نعلم ما هي أنواع الإشارات التي يمكن أن ترسلها الأجهزة الاستشعارية، بينما في حالة الأنظمة البيولوجية الحيوية فنحن عادة نفتقر إلى مثلٍ هذه المعرفةً.

أقيمت ورشة عمل أقيمت في إيديليك (idyllic) الواقعة على محيط مونت فيرتا (Monte Verita) في شمال سويسرا عام 1995م عن "التدريب ومستقبل الكائنات الذاتية التصرف: The Practice and

وقد كان " Future of Autonomous Agents لدى فيلسوف العقل الأمريكي دان دينيت (Dan Dennett) ما يقوله عن الروبوتات السويسرية: "إن هذه الروبوتات تقوم بالتنظيف ولكن ليس هذا ما يظنون أنهم يفعلونه!" (ولعلك خمنت، بأن الروبوتات السويسرية أطلق عليها "السويسرية" لأنها كنية فقط مثل سكان مدينة سويسرا من السويسريين، وهم "يحبون" أعمال التنظيف). وبمعنى أن مصممي الروبوتات في نفس مركب الروبوتات السويسرية. ولقد قدم دينيت في هذه الورشة ورقة عمل تدور حول مصممي الروبوتات تحمل عنوان ("كوغ كتجربة فكرية: Cog as a Thought Experiment ")، حيث ذكر دينيت "إن مايفعله هؤلاء الناس هو الفلسفة ولكن ليس هذا ما يعتقدون أنهم يفعلون!". ولقد اعتقد دينيت، وآخرون معه، أنه ببناء هذا النوع من الروبوتات، فإننا ربما نتطرق دون وعيٍ منا إلى الخوض في بعض القضايا العميقة والصعبة في الفلسفة مثل مشكلة الجسم - العقل السيئة السمعة.

مالذي نستطيع استنتاجه من مثال الروبوتات السويسرية؟ نستنتج أولاً انه لابد أن نوجد فرقاً واضحاً بين وجهة نظر المراقب أو المصمم وبين وجهة نظر

الروبوت. ومن وجهة نظرنا نحن، تقوم الروبوتات بالتنظيف؛ ومن وجهة نظرالروبوتات فهم تتفاعل مع محفزات الاستشعارية. وهذا ما يسمى (منظورات قضية مسألة الإطار المرجعي: perspectives issue of the frame - of - reference problem).

ثانياً: إن السلوك في الحيوانات والروبوتات لا يمكن أن يتم تقليصه في الميكانيكية الحركية الداخلية فقط. فالسلوك هو نتيجة تفاعل الكائن مع العالم الحقيقي الواقعي، والذي يتضمن ليس فقط (النظام العصبي للكائن بل أيضاً الجسد بأكمله: neural system) ويشمل كيفية توزيع أجهزة الإستشعار، والخصائص والمواد المكونة لنظام أوتار العضلات والمفاصل...وهكذا. هذه المجموعة من الأنظمة والميكانيكيات المتداخلة والمتكافلة مع بعضها هي المكونة للجسد ويطلق عليها معا (تجسيد الكائن: agent's embodiment). ولهذا لا يمكن أن نُقلِّص السلوك في عملية وحيدة مثل برنامج التحكم. وإذا تم ذلك، فسوف يقودنا إلى ما يطلق عليه الفلاسفة، (خطأ التصنيف: category error)، وذلك لوجود فئتين لكل منهما مفهوم مختلف ـالفئة الأولي هي (الميكانيكية الداخلية: internal mechanism) ويقصد بها هنا برنامج التحكم)،

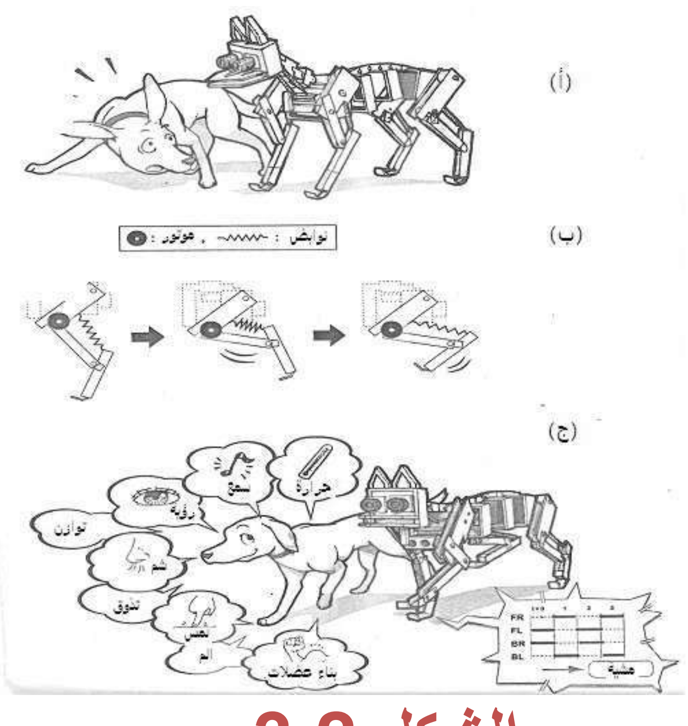
والفئة الثانية هي (السلوك المُراقب observed: behavior) والذي يتطلب تفاعل النظام الطبيعي الفيزيائي مع البيئة – ومن الخطأ الذي يمكن الوقوع فيه هو إعتبار مقارنتهما معا بشكل مباشر أمرا ممكننا ومقبولا. وبعبارة أخرى، ليس بامكاننا توقع سلوك الروبوت فقط بناء على معرفتنا ببرنامج التحكم الخاص به: إذ يجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار تجسيده والبيئة. حيث إن للإطار المرجعي أيضا تضميناً قوياً عندما نتجه نحو بناء الروبوتات وليس فقط تحليلها. حيث لم يعد كافيا في هذه الحالة برمجة الروبوت لتحقيق بعض السلوك: وانما يجب أن نهتم بهندسة بنائه وتركيبه الفيزيائي وبهندسة برنامج التحكم الخاص به، مع أخذ البيئه في الاعتبار أيضا. فعلى سبيل المثال: تم وضع أجهزة الإستشعار في الروبوتات السويسرية على مسافات أبعد من طول مكعبات الستيروفوم حتى يحدث التكتل. وهذه هي قضية "السلوك مقابل الميكانيكية behavior: versus mechanism ".

الرسالة الثالثة التي نستطيع استنتاجها من هذا المثال هي أن ما قد يبدوا سلوكا معقدا في ظاهره يمكن أن ينتج من)الميكانيكيات العصبية (neural mechanisms: أو من برنامج تحكم بسيط. وهذا ما

يطلق عليه (قضية التعقيد: complexity issue). وإننا لا نود المبالغة في وصف السلوك التقني المعقد للروبوتات السويسرية: حيث أن تحريك مجموعات المكعبات لتشكل تكتلا، على الرغم من التوقعات لايتطلب مستوى التعليم الجامعي. ولكن يظل السلوك من وجهة نظر المراقب موضوعا غير بسيط كما يمكن أن يؤدي إلى نتائج مثيرة وممتعة. وتعتبر نملة سايمون التي على ضفاف الشاطئ حالة أخرى دالة على هذه النقطة.

الجرو ذو الأربع قوائم: The Quadruped "Puppy"))

على الرغم من أن مثال الروبوتات السويسرية حالة مدهشة ويمكننا التعلم منها، الا أنها روبوتات ذات عجلات وتتمتع بدرجات قليلة جداً من الحرية، وذلك يعني أنها تتحرك وتسلك فقط عددا محدودا من الطرق. لذا دعونا نلقي نظرة على روبوت أحدث بكثير من الروبوتات السويسرية ولديها درجات أكبر من الحرية: مثل الجرو ذو القوائم الأربعة الذي طورته المهندسة الشابة الموهوبة فوميا آيدا (Fumiya Iida) والتي تعمل في نفس مختبر زيورخ (انظر الشكل 3.2). ولا يزال يعتبر تطوير روبوت لديه القدرة على العدو مشكلة صعبة جداً في علم الروبوتات.



الشكل 3.2

الجرو الالي (الروبوتي) ذو الأربع أرجل. (أ) صورة للجرو الروبوتي مع الحيوان الذي إستوحي منه الشكل، (ب) الكلب يعتمد على الخصائص المرنة التي يتكون منها نظام أوتار العضلات الذي يساعد على التحرك السريع، ويدعم الجرو عدد من النوابض في قدميه. (ج) أشكال أجهزة الإستشعار(المحسات) عند الكلب الحقيقي وما يقابلها عند الجرو الروبوتي. مع ان الجرو الروبوتي ينتج القليل جدا من الإستجابات للمحفزات البيئية مقارنةً بالكلب الحقيقي، الا أن هذه تعتبر نقطه البداية لمشاهدة كيف أن الجرو الروبوتي يستطيع أن ينتج رموزا راسخه. هناك أيضا مسألة الإطار المرجعي: للمراقب فإن العالم الخارجي مليء بالتفاصيل، أما بالنسبة للجرو الروبوتي فإن العالم يتالف من أنماط مستقاه من إستشعارات (اومحسات) الضغط في قدميه.

وكما سنشرح بتفصيل أكثر لاحقا، فإن الجرو الروبوتي، المشابه للروبوتات السويسرية، له تصميم بسيط جدا (انظر مثال آيدا و فيفر: 2004). وعلى الرغم

من بساطة التركيب أو على الأصح بسبب بساطة التركيب، فإن سلوكه ثابت ومشابه للسلوك الحيوي بشكل مدهش. يبلغ عدد مفصلات الجرو الكلية 12 مفصل، أربعة منها مقسمة على الأكتاف وعلى الأوراك، وأربعة على كل ركبة، وأربعة على كل كاحل. بالإضافة إلى ذلك، فإن هناك نوابض تربط الجزء العلوي من القدم مع الجزء السفلي (لمزيد من التفاصيل انظر فصل 4 و 5). هناك أيضاً إستشعارات لقياس الضغط موضوعة في أسفل القدم للإشارة عند ملامسة القدم للأرض. أما التحكم فبسيط جداً: تتحرك مفاصل "الأوراك" و"الأكتاف" إلى الأمام والخلف بطريقة دورية منتظمة. وعندما يوضع الروبوت على الأرض ويبدأ بالتحرك، يخدش الأرض، ولكن بعد القليل من التذبذبات يتحرك بخطوات منتظمة و سلسة نوعا ما. وهذا يحدث نتيجة التفاعل بين الحركة التذبذبية والبنية التركيبية للروبوت (هيئته و النوابض الرابطة)، واحتكاك قدمه بالأرض، والجاذبية الأرضية. أما سلوك الجري فهو مرتبط كليا بما يعتقدة المراقب: فالجرو الروبوت يعلم فقط أي شيء غير أنماط الضغط الواقعة على أسفل القدم، والتى تعتبر وسيلته الوحيدة للإتصال مع العالم الخارجي (انظر الشكل ج2.3).

وكما هو في حالة الروبوتات السويسرية، فإن سلوك جري الجرو الروبوتي لا يمكن تقليصه أو توضيحه فقط من خلال تقنيات ميكانيكيات التحكم وحدها. فالحركة التذبذبية البسيطة المبرمجة في الروبوت تؤدي الى سلوك الجري فقط اذا كان التجسيد صحيحا، أي أن جهاز التحكم موضوع داخل النظام الفيزيائي وفي الشكل الجسدي بالشكل الصحيح تماما. وأيضا فإن سلوك الجرو الروبوتي يعتبر من وجهة نظر المراقب الخارجي متطورا ومعقدا مقارنة مع الميكانيكية البسيطة المحركة للروبوت والتي تولّد هذا السلوك.

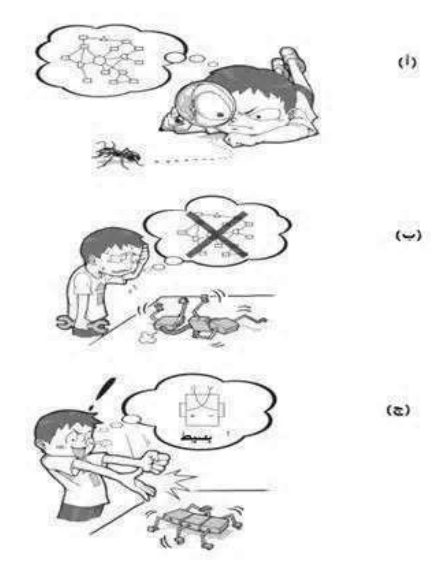
وبعد هذا الشرح المسهب، نلاحظ أن العكس يمكن حدوثه أيضا في حالات معينة: فالسلوك الذي قد يبدو بسيطا للمشاهد يمكن أن يتطلب عمليات معقده لانتاجه. على سبيل المثال، تحريك يدك في خط مستقيم يحتاج الى تحكم عصبي أكثر بكثير من ذلك الذي تحتاجه لتحريك يدك ورفعها حول جسدك. كذلك فإن الجوانب المتعلقة بالابصار، مثل التعرف على جسم، يبدو أنه يحدث بدون مجهود، ولكن في الواقع، فإن نظام الإبصار متطور ومعقد ويتطلب التنسيق بين العديد من الميكانيكيات الحركية والإستشعارات الحسية.

وختاما يمكننا القول أن مسألة الإطار المرجعي أثارت العديد من الأسئلة حول الذكاء. وسوف نتعرض للعديد منها فيما بعد خلال هذا الكتاب.

3.4 (المنهج التركيبي: The Synthetic Methodology)

كما ذكرنا سابقا، بإنه لا يوجد أساس منهجي و معايير معتمدة للذكاء الإصطناعي حتى الآن، على عكس المجالات العلمية التقليدية الأخرى، فإن للذكاء الإصطناعي طابع هندسي واضح ومحدد: وليس كل ما يهمنا هو تحليل الظواهر الطبيعية، ولكن أيضاً بناء أنظمة اصطناعية. وتذكر أهداف البحث الرئيسية الثلاثة التي وضعنا خطوطها العريضة سابقاً: 1 - فهم الأنظمة البيولوجية الحيوية (فعلى سبيل المثال النظم البيولوجية لدي البشر والحيوانات)، 2 - استخلاص المبادئ العامة للسلوك الذكي ليس فقط للأنظمة البيولوجية الحيوية ولكن للنظام السلوكي بصفة عامة. و3 - بناء أشكال روبوتية فنية مفيدة. وهذه الأهداف الثلاثة تتحد في علم المنهج التركيبي. إن المنهج التركيبي الذي سبق تقديمه بإيجاز في الفصل الأول تحت شعار " الفهم من خلال البناء". إذا كنا مهتمين بالكيفية التي تمكن النملة في الصحراء من إيجاد طريق مسكنها، والكيفية التى تمكن

الإنسان من التعرف على وجه مألوف في الزحام، فعلينا أن نبني نظاما إصطناعيا – روبوتيا مفيدا –يحاكي نواحي سلوكية معينة نود دراستها (الشكل 3.3). ولقد أثبتت هذه الطريقة جدواها وقوتها: لأنها تتطلب منك أن تبني شيئا يعمل حقا في العالم الواقعي الفعلي، مما يمنع تلميع التفاصيل كما يحدث في حالة تشكيل النظريات المجردة.



الشكل3.3

المنهج التركيبي: يحاول العلماء فهم سلوك النمل، (أ) ربط السلوك الذي تم ملاحظته مع التمثيل الداخلي له بصورة مباشرة. (ب) اخفق إستخدام هذا التمثيل للتحكم في مشي الروبوت. (ج) تطبيق نموذج ابسط – يشابه فكرة نموذج براتنبرغ (الشكل 3.4) – للتحكم في سير الروبوت. وإن هذا النموذج الأخير، يبدوا تنفيذه أكثر إمكانية لإيضاح السلوك الأصلي الذي تمت ملاحظته.

أحد الأمثلة القديمة التي توضح علم المنهج التركيبي هو: (إبصار الحاسوب Computer Vision). قبل

أربعين سنة، بشكل عام، كانت منهجية صنع جهاز يمكنه الرؤية تتلخص في ربط كاميرا ببرنامج تعريف على الأنماط. ومن ثم يأخذ البرنامج الصورة الملتقطة بالكاميرا وبعد ذلك يصنفها ثم يكوِّن للصورة (تمثيلا رقميا للجزء internal representation: داخليا الذي أمكن التعرف عليه من الصورة. ولكن بعد فترة قصيرة اتضح لنا أن هذه الطريقة لايمكن أن تكون هي التي يتم الإدراك بها: وأتضح أنه من الصعب التعامل مع هذه المشكلة حيث أن الأشياء والأجسام في العالم الحقيقي الواقعي تكون مواقعها على أبعاد متغايرة، وأوضاع إضاءة مختلفة قد تسبب غالبا حجبا جزئيا للرؤية لبعض مناطق الجسم فلا يظهر بأكمله. وهذه المشكلة يتعامل معها البشر بسهولة. لذا فقد أدركنا بوضوح أننا في العالم الحقيقي الواقعي بحاجة إلى أسلوب آخر: حيث أن (ربط mapping) التمثيل الداخلي الرقمي مع الصور التي تم إلتقاطها من خلال تنفيذ لوغاريتمات تطابق الأنماط عمل ليس من السهل إنجازه. ثم ظهر مفهوم (الإبصار النشط Active vision) في الثمانينات، عندما أصبح بإستطاعة الكاميرا التحرك بناء على المحفزات الحسية (مثالا "اعتمادا على الكاميرا لإلتقاط صورة من ذاتها")، مثل

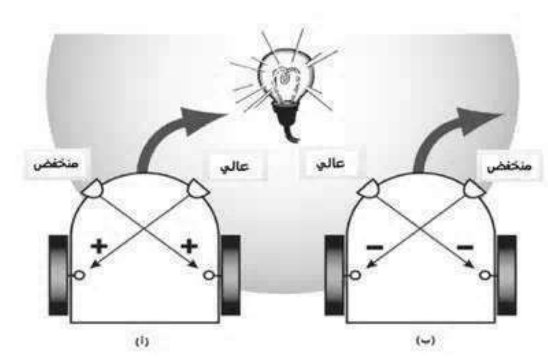
ذلك سجل تقدما ملحوظا وخطوة هامة نحو تصميم نظام إدراك حسي حقيقي تفاعلي. (يجب أن نشير هنا، أن الاسلوب التقليدي لإبصار الحاسوب على الرغم من أنه لا يشابه الابصار الطبيعي إلا أنه أسفر عن مجموعة من التطبيقات المفيدة)، و سنعرض في الكتاب الكثير من الأمثلة عن المنهج التركيبي.

إن المنهج التركيبي يقع في مركز الذكاء الإصطناعي.

ولقد إستوحى كثير من الباحثين المتخصصين في علم الخلايا الدماغية أعمالهم من كتاب " تجارب في علم النفس التركيبي: Experiments in Synthetic Psychology " (1984) - وهو كتاب صغير وممتع لعالم الأعصاب فالنتينو بريتنبرغ (Valentino Braitenberg).

قدم بريتنبرغ سلسلة من عربات الروبوت التي يتزايد تعقيدها، ابتداء من الوحدات البسيطة التي لديها "دماغ" وتتكون من عدد قليل من الأسلاك. وبالرغم من سهولة تركيبها، الا أن هذه العربات تبدي سلوكا معقدا. إن المنهج التركيبي يمكن الرجوع اليه من تاريخ المهندس وعالم خلايا الأعصاب الدماغية البريطاني غراي والتر (W. Grey Walter)الذي ادعى أنه صنع "حياة إصطناعية" في هيئة زوج من السلاحف الروبوتية و

والتر:) (Elsie) وإلسيس (Elmer) سماهما إلمر 1950). ولقد تم إستيحاء فكرة الروبوتات من نظام خلايا الأعصاب الدماغية الطبيعية بحيث تكون "أجهزة التحكم: controllers" عبارة عن دائرة كهربائية قياسية. هذا ولم يكن هناك أي برنامج على لوحة الدوائر الكهربائية للروبوتين إلمر و إلسيس: فمفهوم الادراك على أنه (رمز) لعمليات حاسوبية لم يكن قد ظهر بعد.
لقد أوضحت سلاحف غراي والتر ومركبات برايتنبيرغ نتيجة مهمة و مفاجئة: "عقل" بسيط التركيب ولكن في المكان الصحيح، يمكن أن ينتج سلوكا معقدا نستطيع أن نصفه بالذكاء. مثلا نوع واحد من مركبات برايتنبيرغ يحتوي على سلكان، ويرتبط جهاز الإستشعار (المحس) من جهة واحدة مع الجسم ومع مولد الطاقة من الجهة الأخرى (أنظر الشكل 3.4)، وينتج عن ذلك تحريك العربات نحو مصدر الضوء وتتبعه. وإذا تم وضع اثنتين من العربات بجانب بعضهما –وكان لكل عربة مصدر إضاءة مثبت بأعلاها –فإن العربات ستؤدي حركات معقدة، وقد وصفها جراي والتر بإستفزاز بأنها تشبه رقصات التزاوج والعدوان (ولتر: 1950)



الشكل 3.4

مركبات برايتنبيرغ البسيطة. (أ) العربة تقترب من الضوء. (ب) العربة تبتعد عن الضوء. إن الربط الايجابي لأجزاء الروبوت يدل على أنه كلما زاد تحفيز جهاز الإستشعار الموجود في مقدمه الروبوت للضوء كلما ازدادت سرعة دوران العجلة المتصلة به. بينما الربط السلبي لأجزاء الروبوت يدل على أنه كلما ازداد التحفيز في جهاز الاحساس كلما أبطأ دوران العجلة. وهكذا، بناء على نوعية إشارة ربط الروبوت، سيتحرك الروبوت اما باتجاه الضوء أو بعيداً عنه.

ومنذ ذلك الحين، تم اختراع العديد من الروبوتات والتي أصبح موروثا منها قدرات التحكم البسيطة ولكنها معقدة السلوك: مثل الروبوتات السويسريه التي سبق وأن وصفناها؛ أسراب طيور (boids) كريغ راينولد (Craig Reynolds's) (1987): وقد تم تقليد سرب من الطيور وتقيدها بثلاث قواعد فقط لتمكنها من الطيران كسرب (وهذه اللوغريتمات تم استعمالها في أفلام عدة مثل: (حديقة جوراسيك :Jurassic Park) الملك الأسد: The Lion King) (سيد الخواتم الثلاثة:trilogy Lord of the Rings)، انظر الفصل السابع)، كما بنى المخترع الشاب جيمس

روبوتات من (James McLurkin) ماكليركن أسراب النمل المستخدمة في الألعاب والتي يبلغ حجمها بوصة مكعبة (انظر الفصل السابع)، أما كيسمت (Kismet) وهو روبوت شبه بشري يقوم باداء تفاعلات اجتماعية بسيطة مع البشر باستخدام مجموعة من ردود الفعل (انظر الفصل الرابع)، بالاضافة الى العديد من الروبوتات الأخرى التي سنقوم بوصف بعضها في الفصول اللاحقة.

وحيث أن السلوك المعقد والمتطور قد يظهر من قوانين بسيطة فإننا نتوقع أن تكون هناك دوائر عصبية بسيطة متعلقة بانتاج السلوك في الكائنات الحية الطبيعية. وربما نجد أن الذكاء يظهر في أي كائن، سواء كان طبيعيا أو اصطناعيا، حيث يقوم الشكل الجسدي بدور الوسيط مع مجموعة من الدوائر العصبية البسيطة مما قد يؤدي الى انتاج سلوك متزايد التعقيد. إن التوصل إلى مثل هذه الاكتشافات قد تخبرنا الكثير عن انفسنا، ولكن فكرة أننا نحن كبشر لسنا سوى مجموعة من الإنعكاسات أو ردود الأفعال قد تبدوا فكرة مخيفة للكثيرمن البشر. وسنذكر المزيد عن هذا الموضوع في الفصل الأخير من الكتاب.

عادةً، عندما نستخدم علم المنهج التركيبي، نبدأ بدراسة السلوكيات التى تثير اهتمامنا –مثل الطريقة التي يتم بها التعرف على الوجه في الزحام، أو النملة التي ترجع إلى مسكنها بعد رحلة البحث عن الطعام، أو الطفل الذي يتعلم التمييز بين الأشياء في العالم الحقيقي الواقعي، أو الكلب عندما يمسك القرص في لعبة القرص الطائر بينما يجري بأقصى سرعته –ومن ثم ننتهى ببناء نموذج إما بمحاكاته إفتراضيا على الكمبيوتر أو من خلال روبوتا. وإن تجاربنا التى أتبعنا فيها هذا المنهج أوضحت لنا أنه يمكننا تعلم الكثيرعن أي نظام طبيعي يثير إهتماماتنا. وبينما يرضي هذا النموذج علماء الاحياء، فنحن كباحثون في الذكاء الاصطناعي نود أن نأخذ خطوة أبعد: نحن نهدف إلى معرفة المفاهيم العامة للسلوكيات لأننا نهتم ليس فقط بأنواع الذكاء الطبيعي ولكن أيضا الذكاء بصفة عامةً. وإن هذا الهدف يعتمد على إعتقادنا الذي يشاركنا فيه الكثير من المتخصصين في هذا المجال، أن الذكاء ليست خاصية مقتصرة على الكائنات البيولوجية الحية ولكن يمكن أيضاً أن تظهر في الكائنات الاصطناعية مثل الروبوتات. ومن خلال نظريتنا والعديد من الأمثلة التي طورناها في هذا الكتاب، فإننا نأمل أن نقنع القاريء بأن إفتراضنا معقولا ومنتجا. ولايزال هناك

العديد من – الباحثين وعامة الناس على السواء – مقتنعين بأن الأنظمة البيولوجية الحية هي فقط التي يمكن أن تكون ذكية، أما الأشياء التى أساسها كربوني لا يمكن أن تكون ذكية فعلا، أيا كان ما يعنيه لنا ذلك.

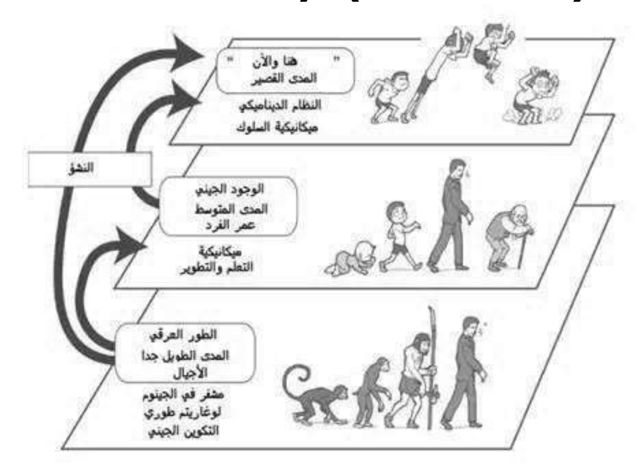
لنأخذ فكرة الذكاء العام، وغير الطبيعي إلى أبعد من ذلك. فعندما نحاول فهم الذكاء، أو أي نظام آخر من النظم الحيوية كالتكاثراوالتنظيم الذاتي، مع عدم حصرنا في نطاق النظم الطبيعية الحيوية فإن ذلك يعطينا حرية أكثر للبحث والإستقصاء. لقد لخص هذه الفكرة كريس لانغتون (Chris Langton)، وهو الذى أوجد مجال علم الحياة الإصطناعية، وهوواحد من العديد من الباحثين الذين حاولوا معرفة الحياة بصورة عامة، وليس فقط الحياة كظاهرة كربونية. وكما أشار لانغتون، إن "الحياة كما نعرفها: life as it is " من خلال علم الأحياء ليس إلا جانبا جزئيا من أشكال الحياة المتعددة، ويجب علينا أن ندرس "الحياة كما يمكن أن تكون: life as it could be". وهذا بدوره يضع المهندسين في وضع أفضل بكثير من وضع علماء الأحياء لأن كل ما يستطيع فعله علماء الاحياء هو دراسة النظم الموجود ة في حين أن المهندسين لديهم الفرصة لصناعة وتطوير أنواع جديدة كليا. وفي ذات الوقت، فإن التقنيات الجينية تمكن

علماء الأحياء من تصميم وبناء أنظمة حيوية بيولوجية لم تكن موجودة سابقا في الطبيعية – ولكن هذه النماذج المصنعة تستخدم المواد الطبيعية المألوفة لدينا: مثل الجينات الوراثية، والبروتينات، والجزيئات الحيوية وغير ذلك.

ومن المؤكد أن بناء كائنات إصطناعية يواجه العديد من التحديات، ولكن من الممكن إكتساب رؤى هامة من خلال أنجاز تجارب عملية بسيطة في ذات الوقت. فمثلا بناء عضلات اصطناعية بخواص مختلفة عن مكونات العضلات الطبيعية بدلا من بناء عضلات مشابهة تماما للعضلات الطبيعية، يمكن أن يساعدنا على فهم ديناميكية الحركة بصفة عامةً. والأكثر من ذلك، أننا قد نستطيع بناء عضلات إصطناعية تفوق العضلات الطبيعية. إن العضلات الطبيعية ترهق بسهولة، وتضعف نسبيا عندما تتمدد أو تنكمش إلى اقصى حد، ولها قيود أخرى. أخيرا فلأنه بامكاننا نظريا أن نبني أي شيء نريده، فإنه يمكننا بصورة تدريجية التعرف على الكائنات الذكية ومحدودة الذكاء. وهذا سيساعدنا على ان نحدد الخصائص التي تساهم في بناء الذكاء وتلك التى لاتساهم في بناءه.

3.5 منظورات المدى الزمنية (Time Perspectives) :

العنصر التالي في إطارنا النظري لإتباع منهجية بحث جيدة هو الإهتمام بالمدى الزمني. وإن أي تفسير شامل لسلوك أي نظام لا بد وأن يتضمن مدى لثلاثة منظورات زمنية، تمتد تدريجيا على فترات زمنية تتراوح في الطول: (أ) (الحالة الموجهة :state - oriented) " هنا والآن" والتي تتعلق بالميكانيكية الفعلية، أي على سبيل المثال، كيف يعمل الشيء (ب) التعلم والتطوير، من منظور الوجود الجيني (ontogenetic view :)، و (ج) المفهوم التطوري، من (منظور التطور العرقي phylogenetic view) (انظر 3.5).



الشكل 3.5

المدى الزمني والنشؤ. هناك ثلاث منظورات للمدى الزمني لابد أن تؤخذ في الإعتبار عند تصميم او تحليل كائن ذكيا وهي: "هنا والان"، منظور الوجود الجيني، ومنظور التطور العرقي. وإذا استطعنا أن نبين الميكانيكية التي تمت ملاحظتها في مدى زمني معين، مثل "هنا والان" قد ظهرت في مدى زمني آخر مثل الوجود الجيني، فان هذا سيمكننا من فهم ملاحظاتنا بصورة أفضل.

يتعلق منظور "هنا والآن" بما يحصل في الوقت الحالي، فيما يختص منظور الوجود الجيني بمسار النمو للكائن البيولوجي الحي، والمنظور التطوري بالمسار العرقي ويمتد عبر أجيال ويختص بالتاريخالتطوري لنوع الكائن الحي. لكننا يجب أن نلاحظ أن تبني منظورات المدى الزمني الثلاثة لا يقتضي أنها منفصلة بأي شكل من الاشكال. بل على العكس فإن العمليات التي تحدث في أحد المستويات الزمنية، فإنها تؤثر على المستويات الأخرى. على سبيل المثال عندما تضرب اصبعك بمطرقة وتحس بالألم فإن ذلك سيلقنك درسا في مرة موالية عن كيفية التعامل مع هذه الآلة. والمعنى أن منظور "هنا والآن" يؤثر على التطوير. والتعلم يؤثر على ما ستقوم به من أعمال مستقبلية، وهكذا فالتطوير يؤثر على منظور" هنا والآن". وحيث أن الأطوار البنيوية لشكل وهيئة اليد يغير ممايمكن أن يعمله الكائن الحي بيده، فهذا بدوره يوضح أن التطور يؤثر على منظور"هنا والآن" أيضا. على أي حال، إن فصل هذه المنظورات الثلاثة بغرض البحث العلمي مفيدا، كما سنرى لاحقاً. حيث أن هذا التمييز والذي يعتبر دليلا لفهم وتصميم الذكاء، تعود أصوله إلى علم الأحياء.(مثال:هكسلي (Huxley,): 1942، تينبيرغن (Tinbergen): 1963).

غالباً ما تكون هناك أكثر من طريقة للإجابة على السؤال، "لماذا يفعل الكائن ما يفعله؟" فعلى سبيل التخصيص مثلا، يمكن أن نسأل لماذا يوقف السائقين سياراتهم عندما يروا إشارات المرور الحمراء. احد الإجابات قد يكون أن هناك حافز بصري، وهو رؤية اللون الأحمر، الذي يؤدي إلى سلوك معين مثل ضغط مكابح السيارة. هذا يمكن أن يكون تفسيرا لمنظور "هنا والآن" أو المدى الزمني القصير. وهناك إجابة أخرى وهي أن السائق ربما تعلم هذا السلوك من الكتب، أوالتلفزيون، او تعليمات القيادة. وهذه الإجابة يمكن أن تكون معتمدة على منظور التعلم والتطوير. أما التفسير التطوري فيمكن أن يتعامل مع العملية التاريخية والذي ينص على أن الاشارة الحمراء أستخدمت كأداة لتنظيم حركة المرور في تقاطع الطرق. فهذا المثال، المقتبس من (مارتن و باتيسن، Martin and Bateson 1993) يوضح أن السلوك يمكن أن يفسر بطرق مختلفة بناء على المنظور الزمني.

يساعدنا مفهوم المدى الزمني أيضاً في إيضاح نوع تصميم القرارات التي سنتخذها. وبإمكاننا أن نختار بناء جوانب من الروبوت – "عقله" وجسمه – بأنفسنا ونراقب مايفعله (منظور " هنا والآن" والذي يتطلب فهم

كامل للميكانيكية الفعلية). أو أنه بإمكاننا أن نرجع خطوة إلى الوراء: ونبني "طفل" روبوتيا ونعرِّف القوانين التي من خلالها يمكن لهذا "الطفل" الروبوتي البسيط أن يتطور إلى كائن أكثر تعقيدا ليصبح روبوتا "بالغا" (منظور الوجود الجيني). وأخيرا، يمكننا أخذ خطوات أبعد إلى الوراء: ونصمم نظاما تطوريا بمقدرته إنتاج كائنات إصطناعية من ذاته. لاحظ كيف أن منظورات الزمن تساعدنا، كمصممين، فنؤثر على التصميم إما بطريقة مباشرة كما في منظور "هنا والآن" أو بأن نجعل السلوك غير المبرمج يلعب دورا مضاعفا في وضع منظوري الوجود الجيني والتطوري العرقي، و سنستفيض في شرح هذه الفكرة في الفصل الخامس عن التطوير وفي الفصل السادس عن المفهوم التطوري. تنشأ سلوكيات "هنا والآن" من خلال التطوير (التعلم)، وكذلك فإن كلا السوكليات الناتجة من "هنا والآن" والتعلم تنشأ نتيجة الأطوار. سبب آخر مهم لفصل منظورات المدى الزمنية الثلاثة المختلفة، هو أن لكل واحدة منها مبادىء وميكانيكية خاصة بها. إن العمليات التطورية التي تعتمد على (التحور :mutation) و(الاختيار :selection) تختلف عن منظور الوجود الجيني التي تتعامل مع التعلم والنمو. وفي منظور "هنا

والآن" تهتم المبادىء والميكانيكية مباشرة بسلوك معين والكيفية التى نتج منها: فعلى سبيل المثال، كيف أن المؤثرات البصرية عندما تصادف تقاطعا (أو نقاط إلتقاء) تحول السلوك مثل الضغط على المكابح عند رؤية ضوء المرور الأحمر؟

إفترض أننا نود أن نفهم كيف تجد نملة الصحراء طريقها إلى مسكنها. يمكن أن نبني روبوتا يستخدم نموذج الصورة الفوتوغرافية، والتى تأخذ فيها النملة صورة لما حولها في اللحظة التي تترك فيها المسكن، وتخزنها، ثم تستعملها لاحقا بعد أن تنهي رحلتها في توجيه نفسها عند عودتها إلى منطقة قريبة من المسكن. إن هذا المنهج يصوغ نموذجا لميكانيكية وآلية البحث والتنقيب، وبذلك يتبين منظور هنا والآن. إن الباحثين في (علم الروبوت الحيوي: biorobotics) أمثال فيرنا هانفر (Verena Hafner) وزملاؤه، إستفسروا عما إذا كان نموذج اللقطة الفوتوغرافية يمكن أن يتم تعلمه من خلال تعامل الكائن مع بيئته، أو أنه سلوك مرتبط "hard - wired: "ماديا - بأسلاك تثبت في الكائن عند ولادته أو انتاجه. وبالفعل يبدو ان الروبوتات المشابهه للنمل تتعلم في تجاربها شيئا مماثلا لنموذج اللقطة الفوتوغرافية. وعليه فان مستوى "هنا والان"

يظهر من تعلم ميكانيكية معينة أثناء تفاعل الروبوت مع البيئة. (هانفر ومولر، 2001 Hafner and Möller). إن هذه التجارب – مثل معظم تجارب التعلم في المدى الزمني للوجود الجيني– تتوقع أن يكون الشكل البنيوي ثابت وتسمح فقط أن يكون التغير في تصميم نظم التحكم. فعلى سبيل المثال، من المفترض أن يكون شكل العين ثابت كما يريد المصمم (مثال نملة الصحراء والروبوتات التي صممها هافنر ومولر (Hafner and Möller) تستطيع الإبصار في جميع الإتجاهات). إن هذا الطريق في الإكتشافات يمكن أن يتم التوسع فيه من خلال الخواص المادية للعين، أو الأفضل، خواص أخري للدماغ والجسم والتى تتغير أطوارها مع المدى الزمني لمنظور التطور العرقي: هل لايزال بإستطاعة الكائن الذي له شكل عينين مختلفتين عن نملة الصحراء أن يتعلم نموذج اللقطة الفوتوغرافية؟ على الرغم من أنه لم يتم بحث هذه المسألة ودراستها حتى الآن، الا أنه من السهل تطوير شكل عين على روبوت حقيقي (ليختنستيجر وسالمون، 200، Lichtensteiger and Salomon)، كما سيتم إستعراض ذلك في الفصل القادم.

3.6 السلوك غير المبرمج (أو النشوء)

كما رأينا سابقاً، فإن منظورات المدى الزمنية لها علاقة مباشرة بمفهوم السلوك غيرالمبرمج (أو النشوء). فعندما نقول على سبيل المثال، إذا إعتبرنا أن ظاهرة معينة في مدى زمني معين تنبثق أو تنشأ من ظاهرة أخرى ذات مدى زمني أطول، نكون قد أحرزنا تقدماً في فهم الظاهرة: وبكلمات أخرى، يمكن أن نشرح ليس فقط كيف تنجز العملية ولكن كيف تشكلت ولماذا تشكلت أيضا. يعود الفضل في ذلك الى تجربة هانفر و موليرو والتي شرحت كيف أن نموذج اللقطة الفوتوغرافية "هنا والآن" يمكن تعلمه، مما وفر لنا الآن معرفة كافية بالظروف التي أظهرت نموذج اللقطة الفوتوغرافية. وبطريقة مشابهة، نتعلم كيف تنشأ آلية أو ميكانيكية تعلم معينة من عملية تطورية مما يقتضي أن هناك تقدم في فهم التعلم.

أنواع السلوك غير المبرمج

يمكننا القول بشكل عام أن النشوء يرمز الى سلوك لم يكن مبرمجا بشكل واضح ومسبقا في النظام أو الكائن. ونحن نميز بين ثلاثة أصناف من أنواع السلوك غير المبرمج: (1) الظواهر الطبيعية الناتجة من السلوك التجميعي لجماعة ما، (2) السلوك الفردي الناتج من تفاعل الكائن مع البيئة، و(3) السلوك الناشيء أو الظاهر من مدى زمني الى مدى زمني آخر. إن تكوين النملة

لمسارها يعطينا مثالا للحالة الأولى. فالنمل في حد ذاته لا يعلم أنه يشكِّل مسار سيتطور ويقوده لإيجاد أقصر الطرق الى مصدر الغذاء (انظر الفصل 2). وهذا هو مايفسر السلوك الجديد غير المبرمج أو معروف مسبقا والمنبثق من السلوك التجميعي لجماعة النمل وسنشرحه بالتفصيل في الفصل السابع. في حالة مركبات برايتنبيرغ، صمم الروبوت بحيث يكون له سلكين كهربائيين يوصلان الإستشعارات بالمولد الكهربائي بطريقة معينة، وهناك مصدر ضوء في الطبيعة المحيطة به وبالتالي ينشأ سلوك تتبع الضوء (light - following behavior). وهذا يعطينا مثالا عن نشوء سلوك غير مبرمج بسبب التفاعل مع البيئة المحيطة. وأخيرا، أما النشوء فإن هناك أيضا نشوء سلوك غير مبرمج ناتج عن المدى الزمني الذي تم شرحه سابقا.

إن مصطلح النشوء أو السلوك غير المبرمج له جوانب ايجابية وأخرى سلبية اعتمادا على وجهة نظر الشخص المخاطب. للباحثين الذين يعملون في مجال الذكاء الأصطناعي أو الحياة الإصطناعية لا يعد السلوك غير المبرمجشيئا جيدا فقط وإنما يعتبر الشيء الذي لابد من البحث فيه والمناهضة من أجله. أما النقاد –وهذا يشمل علماء الإدراك، وأيضا العلماء المحافظين من

المجالات الأخرى أوكذلك الصحافيين –الذينيسخرون من فكرة النشوء يقولون: في أى وقت تفاجئنا ظاهرة طبيعية ولا نستطيع فهمها، نطلق عليها ظاهره السلوك غير المبرمج! من الواضح، ببساطة أن تعريف الظاهرة على أنها منبثقة، ناشئة أو سلوك غير مبرمج لا يحمل أي قيمة تفسيرية بأي حال من الأحوال. ولكن أذا أمكننا أن نشرح بأن ظاهرة ما تعتبر منبثقة أو أن السلوك غير المبرمجينتج من عمليات أبسط فان هذا يمثل نوعا من التفسير ومستوى أعمق من الفهم. فعلى سبيل المثال، يمكن أن نفهم رقصة التزاوج بين سلاحف غراي والتر الروبوتية (Grey Walter) بصورة أفضل بكثير بمجرد التعرف على كيفية تفاعلها مع الضوء، وتوضيح أن نموذج اللقطة الفوتوغرافية في التنقيب والبحث إنبثق من عملية تعلم في بيئات مختلفة مما عزز امكانية تعميمها. عندما ندرس كيف تنشأ عملية أو خاصية جديدة من خلال العمليات التى استمرت على مدى زمني لمدة أطول لدى الكائن، فإنه يكون بإمكاننا أن نتعلم ليس فقط عن العملية التي إنبثقت ولكن أيضا عن كيفية نشوئها والظروف التي أوجدتها. فمثلا عندما نستخدم اللوغاريتمات التطورية لتصميم كائنات لها خواص حركية اوتوماتيكية، فإنه بامكاننا أن ندرس أيضا هياكل

البنى الشكلية ونظم جهاز الخلايا العصبية التي تتطور لديها بناء على معطيات البيئة (مثلا اليابس أو الماء). أو إذا أمكننا إستعراض أن الروبوتات التي طورت سلوك الحركي (light - seeking): (التنقيب - الضوئي سوف يكون لها تصميمم هيكلي مشابه لتركيب بريتنبرغ، يمكننا التصريح بأن التصميم الهيكلي المشابه لتركيب بريتنبرغ نشأ من عمليات تطورية، وذلك لأن آلية وميكانيكية سلوك التنقيب ـ الضوئي ليس مبرمجا بشكل مباشر في النظام (إنظر الفصل 6). وأخيرا، إذا أستطعنا أن نستعرض أن الكائنات التى تتطور تدريجيا تتبع مبادىء التصميم التي ستتم مناقشتها في الفصل التالي، فإن هذا سيضيف مصداقية وشرعية إلى المباديء في حد ذاتها.

:(التصميم للسلوك غير المبرمج (أو النشوء

قبل أن نختتم هذا الفصل دعونا نسرد باختصار كيف يمكن للسلوك غير المبرمجوالتصميم أن يسيران مع بعضها البعض. فبمجرد تكوين قواعد السلوك لنظام ما، مثل كيف يترك النمل اشارات كيميائية وكيف يكون لديه القابلية ليتجه نحو التركيز الأكثر كثافة لمادة الفرمون، أوعن كيفية إختيار مواقع إستشعارات الأشعة تحت الحمراء في الروبوتات السويسرية وكيفية تفاعلها مع

المحفزات الإستشعارية، لإكتشاف بصورة مباشرة السلوك الناشىء وغير المبرمجللنظام بمجرد تشغيله. لابد لنا أن نعي، أنه ليس هناك أي غموض حول السلوك الناشىء غير المبرمج ويمكننا أن نقدم تفسيرا عقلانيا جدا للكيفية التى تتجمع بها الروبوتات السويسرية لتشكيل تكتلات. ولكننا دائماً نسأل كيف تم صنع الروبوتات السويسرية في المقام الأول. إنه واضح بأي حال من الأحوال، أنك إذا أردت أن تكون لديك روبوتات تشكِّل تكتلات فلا بد أن تصممها بحيث تتجنب العوائق! وعليه فإن الأصعب من تفسير أي سلوك معين هو إستنياط القوانين من خلال سلوك محدد نريده لتحقيق سلوكيات آخرى معينة نريد نحقيقها عند تشغيل النظام – او بمعنى اخر، عندما يتفاعل الكائن مع بيئته. ويطلق على هذا: design for (التصميم النشوئي emergence) (1991 ،ستييلز، Steels). ولايزال السؤال حول كيف يمكن أن يتم إنجاز هذا السلوك النشوئي غير المبرمجبصورة منهجية ومنظمة مفتوح ولم تتم الإجابة عليه. وفي الوقت الراهن، يعتبر التصميم النشوئي فنا أكثر منه مجالا علميا هندسيا أساسيا. ذلك لأن السلوك لا يمكن أن تتم برمجته فهو عادةً نتيجة لتفاعل (الكائن والبيئة: agent - environment)

الطبيعة، لذا فعلينا أن نستخدم منهجية التصميم النشوئي وليس التصميم من أجل الوصول إلى سلوك معين بطريقة مباشرة. وهذ أسهل منه في أحيان أخرى ولكنه يظل عملية صعبة. وسنحاول عبر الكتاب، أن نقدم أدلة علي أن مبادىء التصميم للأنظمة الذكية قد تساعد في ذلك. ففي بعض الأحيان، يكون هذا المنهج أسهل من غيره، ولكن لاتزال هناك صعوبة في سير العملية. وسوف نحاول، من خلال هذا الكتاب، توفير دليل على أن مبادىء التصميم للنظم الذكية من الممكن ان تساعد.

وأخيرا، دعونا نتحدث عن نقطة إضافية مهمة أخرى.

أحد الحالات التي ظهر فيها أن التصميم النشوئي أعطى نتائج مذهلة من البساطة هو مفهوم التطور الاصطناعي. في بعض التجارب، نشأ ت سلوكيات معقدة وتركيبات من نظم تطورية بسيطة نسبيا بصورة مدهشة. وباستخدام مفهوم السلوك غير المبرمج، وبالتحديد باستخدام التطور الاصطناعي، قد نستطيع تصميم نظم بصورة أوتوماتيكية دون تدخل البشر تكون أكثر تطورا وتعقيدا بكثير من تلك التي يمكن أن نصممها بأيدينا. وفي الحقيقة امثلتنا توضح أن هذا فعلا أمر واقعي. ربما أن عالم الروبوتات من جامعة (Inman Harvey) المتطور اينمان هارفي سسكس محقا عندما صرح "خرج التصميم، ودخل

المفهوم التطوري!: Design is out, evolution is in! " بل قد يكون التصميم البشري في طريقه نحو الزوال، وأن تكوين أنظمة متطورة ومعقدة تتطلب إستخدام أدوات مختلفة مثل التطور الاصطناعي. ويجب أن لانغفل، على كل حال، أن استخدام مفهوم (التصميم التطوري: evolution for design) يجعل من الصعب علينا أن نفهم النتائج: وكمثال متطرف فالدماغ البشري هو بنية معقدة نتجت من المفهوم التطوري، وقد عانينا الصعاب لفهمه! ومن الممكن أن تكون نتائج السلوك لهذه الروبوتات المتطورة غير كافية للوصول إلى فهم شامل عن الذكاء، لأننا قد نصل في نهاية المطاف إلى نظم ذكاء معقدة من صنع الانسان ولكننا لن نستطيع فهم سلوكها بصورة واضحة ومفهومة.

3.7 ملخص

في هذا الفصل حاولنا أن نحيط بجوانب مشكلة تنطوي على تحد كبير لمعرفة مواصفات نظرية الذكاء، واقترحنا أن مجموعة مبادىء التصميم هذه، لابد وأن يكملها أطارعام يتكون من عدد من (المبادىء - الشمولية: المناسبة. ولقد أشرنا الى أن (meta - principles: هذه المبادىء يمكن أن تستخدم في المنهج التحليلي للفهم، وفي المنهج التركيبي للبناء. ثم خططنا باختصار

الهيكل العام لنظريتنا. وتمثل الإستجابة والتنوع خصائصالفئة الظواهر التي تدور حولها النظرية: فعلى الكائنات أن تستجيب لبيئتها وأن تستغلها أثناء عرضها للسلوكيات المتعددة في ذات الوقت. أما موضوع الإطار المرجعي فيذكرنا بما نحن بصدده: العمليات التي تجري في عقولنا كمراقبين أو مصممين، أو في رأس الكائن، أو أثناء تفاعل الروبوت مع البيئة المحيطة به. إن المنهج التركيبي، " الفهم من خلال البناء" يحاول أن يفهم الظواهر الطبيعية من خلال عمل نماذج روبوتية تحاكي الجوانب الطبيعية. كما أن تصميم كائنات إصطناعية وتحليل الكائنات البيولوجية الحيةً يمكن أن يتم في ثلاث فترات من المدى الزمني: منظور "هنا والآن"، منظور التطور، و منظور المدى التطوري. هذا مع الأخذ في الإعتبار أن اي تفسير مفصل لسلوك الذكاء دائما يحتاج لجميع المنظورات الثلاثة. كذلك فقد عرفنا ثلاث طرق للسلوك غير المبرمج أو للنشوء: سلوك يظهر في الفرد، أو في مجموعة من الكائنات الكونية، أو من خلال منظورات المدى الزمني. وهناك تفسيرات وإشارات قوية عادة تشير الى النشوء أو السلوك غيرالمبرمج، يكون فيه سير العملية التى تحدث في مدى زمني معين ومن الممكن أن تكون قد نشأت من سيرعملية أخرى حدثت في

مدى زمني أطول، مثال ذلك حدث " هنا والان " والذي انبثق ونشأ نتيجة عملية تطويرية أوتعليمية. وحيث ان السلوك دائما يكون غير مبرمج، فإنه يجب علينا دائما أثناء التصميم أن نعتمد خاصية النشوء. وعلى الرغم من أنه من السهل فهم السلوك غير المبرمج بمجرد أن تتوفر لدينا القواعد الأساسية التي تحدد السلوك، الا انه من الصعب استنباط القواعد التي تؤدي الى سلوك معين نرغبه. ولكن يبدو أن الوضع يختلف في حالة التطور الاصطناعي: فمن السهل تصميم القواعد الاساسية للوغاريتمات التطورية، ولكن من الصعب فهم الكيفية التى تنشأ بها البنى والسلوكيات المعقدة. وقبل أن ننتقل الى المفهوم التطوري والتطوير، سوف نتفحص خصائص ومباديء ذكاء الكائنات، في الفصل القادم.

الفصل الرابع
الأنظمة الذكية: الخصائص والمبادئ

في ستينات القرن العشرين، اقترح العالم النفسي الياباني ماسانو تودا (Masanao Toda)، دراسة كائنات افتراضية سماها "آكلات الفطر Fungus“ Eaters. واعتبر ذلك طريقة ممتعة للتفكير في الذكاء بدلا من الطريقة التقليدية المتبعة في علم النفس الاكاديمي. آكلات الفطر هي كائنات إصطناعية أرسلت الى كوكب بعيد لكي تجمع اليورانيوم الخام. ولأنها ستجمع اليورانيوم الخام، يجب أن تكون نظما فزيائية ــمجسدة ــ حيث أن المحكاة البرمجية وحدها لا تكفي في هذه الحالة. وحيث أنه لا يوجد بشر على هذا الكوكب، فإنه يجب أن تكون آكلات الفطر ذاتية التحكم ــبمعنى أنها مستقلة ولا تعتمد على التحكم البشري؛ ولا بد أن تكون هذه الروبوتات قادرة على الإكتفاء الذاتي، مما يعنى أنها قادرة على الإهتمام بنفسها على مدى زمنى طويل، ولابد أن تكون قادرة على التعلم الذاتي من البيئة، أى أنها تتعلم من البيئة ذاتيا من خلال أنظمتها الاستشعارية. هذه الكائنات الإفتراضية سميت آكلات الفطرلأنها تتغذي على نوع معين من الفطر يتكاثر وينمو على هذا الكوكب. وهذا

الكوكب بعيد جداً مما لا يسمح بالتحكم عن بعد لأن الاشارة سوف تستغرق وقتاً طويلاً حتى تصل اليه. وبالمقارنة فإن مهندسي ناسا أرادوا الإبقاء على ممارسة أكبر قدر من التحكم على الروبوت المعروف باسم زائر مارس (the Mars Sojourner)، حيث أنهم لم يثقوا بشكل كاف بقدرة هذه الروبوتات الذاتية التشغيل. وبدون تحيز، فقد كان الروبوت بطيء جداً؛ لأنه يسير بضعة أمتار فقط في اليوم الواحد، مما يعني أنه سيقطع 100 متر في ثلاثة شهور. أما بديلي زائر مارس فهم توأمي استكشاف مارس المسميين الروح والفرصة (Spirit and Opportunity) فقد كانا قادرين على السير بسرعة أكثر من 100 متر في اليوم الواحد (سريعون جداً مقارنه بزائر مارس)، ولكن هدفهم في الوصول إلى الموقع الذي يريدونه لايزال التحكم به يتم من على الأرض.

وتمثل روبوتات أكلات الفطر التى صممها تودا (Toda's Fungus Eaters) كل المعوقات التي يمكن أن تواجه الكائن الكامل: أنه يجب أن يقوم بصيانة نفسه، وأن يتعامل مع المواقف المفاجئة، وأن يحدد موضوعه وهدفه، وأن يولد طاقته اللازمة وينميها، بالإضافة إلى أشياء أخرى. وبمقارنة ذلك مع طرق الذكاء

الاصطناعي التقليدي، فإن الكائنات التى تم إنتاجها سابقا محدودة القدرة بكثير ولم تتعامل مع كل الصعوبات التي يمكن مواجهتها في العالم الحقيقي الواقعي.

جادل تودا أيضا – وفي الغالب سيوافقه الكثير من علماء النفس على ذلك – أنه في الدراسات التجريبية يتم إختبار الناس عن طريق تكليفهم بمهام ليست فقط اصطناعية ولكن يصعب أيضا على البشر إنجازها: كأن يطلب من الشخص، مثلا، أن يتذكر قائمة طويلة من الأرقام أو أن يقرأ نصا في الإتجاه المعاكس. أصر تودا أنه إذا أردنا أن نتعلم شيئاً متعلقا بالذكاء – شيئا حقيقيا يمكن تطبيقه في سلوكيات العالم الحقيقي الواقعي – يجب علينا أن ندرس (نظم مكتملة :complete systems)، أي نظم مستقلة تستطيع أن تؤدي مهاما في العالم الحقيقي الواقعي ذاتيا (تودا: 1982). بينما تقدم روبوتات أكلات الفطر التى صممها تودا فكرة بديهية عن نوع النظم التي تهمنا، سوف نعمل على تكِّوين مفهوم الكائنات المكتملة بدقة أكثر في هذا الفصل.

في الفصل السابق قدمنا مخططا لما يجب أن تكون عليه نظرية الذكاء، كما تحدثنا عن بعض الاعتبارات النظرية العامة في دراسة الأنظمة الذكية: الإستجابة والتنوع، الإطار المرجعي، المنهج التركيبي ، منظورات

المدى الزمني، والسلوك غير المبرمج أو النشوء. ولكننا لم نتكلم كثيرا بعد عن الكيفية الفعلية لتصميم الكائنات عندما نطبق المنهج التركيبي؛ وهذا ما سنقوم به في هذا الفصل. إن الكائنات التى يهمنا تصميمها هى الكائنات المكتملة – كآكلات الفطر مثلا – فهي موهوبة بكل شيء يدعم سلوكها في العالم الحقيقي الواقعي، وهذا يتضمن بطبيعة الحال أنها يجب أن تكون مجسدة وقادرة على التعلم ذاتيا من البيئةومستقلة فهي تعمل بصورة ذاتية وبكفاءة. وجميع الروبوتات التي تحدثنا عنها في هذا الكتاب تعتبر مستقلة وتعمل بصورة ذاتية وبشكل مبسط، بمعنى أنها لا يتم التحكم فيها بصورة مباشرة من خلال الإنسان. ولا يزال مستوى استقلالها محدود جدا ذلك لأنها تعتمد على البشر لتمدها بالطاقة، ولصيانتها، ولوضعها في البيئة التى يتم إسناد المهام فيها إليها. ومن الواضح، أن الاستقلال أو الحكم الذاتي، مثله مثل الذكاء، فهى ليست خاصية ثنائية إما إن تكون موجودة تماما أو غير موجودة تماما؛ فالكائن يمكن التحكم به بدرجة أكبر أو أقل من قبل كائن أخر. وهناك جدل فلسفي طويل حول مفهوم الاستقلال وعلاقته بالذكاء. ولكننا لن نتطرق الى هذا الجدل هنا ويمكن للقارىء الراغب في الحصول على

المزيد من المعلومات حول هذا الموضوع مراجعة (فيفر وشير، Pfeifer and Scheier، 1999).
في هذا الفصل سوف نصف بإيجاز مانعنيه بمصطلح "العالم الحقيقي الواقعي": real world "، ونقارنه بالعوالم الإفتراضية. بعد ذلك سنناقش خصائص الكائنات المجسدة ونصف مايحدث عندما تتفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي. وأخيرا، سوف نقدم أساسيات مبادىء التصميم.

4.1 العوالم الحقيقية والعوالم الإفتراضية

هذا الكتاب مخصص للكائنات المجسدة التى لابد وأن تعمل في العالم الحقيقي الواقعي. وللعالم الحقيقي الواقعي خصائص تختلف تماماً عن تلك التي نجدها في العوالم الإفتراضية أو الشكلية، والكائنات الذكية لابد أن تكون قادرة على أن تتعامل مع العالم الفيزيائي المادي إذا أردنا لها أن تعيش حياتها أو أن تؤدي وظائفها في هذا العالم لفترة زمنية مطولة. علاوة على ذلك، فعلى عكس العوالم الإفتراضية أو الشكلية، فإن العالم الحقيقي الواقعي ينطوي على تحديات متعددة للكائن.
أولا: لأن كائنات العالم الحقيقي الواقعي مجسدة، واكتساب المعلومات دائماً ما يستغرق زمنا: فاذا كنت

تريد أن تعرف ماذا يوجد في الغرفة التي بجانبك لابد أن تذهب وتستكشف بنفسك، أو أن تسأل أحدا عما فيها.

ثانيا: المعلومات التي يمكن أن يجمعها الكائن عن العالم الحقيقي الواقعي دائما ما تكون محدودة: فنحن نستطيع فقط أن نرى كل مايقع في حيز نطاق أبصارنا أو أسماعنا. وهكذا فنحن لايمكن أن تكون لدينا معلومات كاملة تامة ومطلقة. هذه الحالة تختلف عن حالة اللعبة الرسمية مثل الشطرنج، والتى تتمثل فيها كل المعرفة المطلوبة عن اللعبة في حد ونطاق لوحة الشطرنج ومواقع الأحجار، مع اعتبار أن إستراتيجيات اللاعبين ليست جزءاً من خصائص اللعبة. علاوة على ذلك، ليس من الواضح ما تعنيه "المعلومات الكاملة: complete information " في العالم الحقيقي الواقعي: هل يتضمن ذلك أنه على الكائن أن تكون لديه معرفة عن حالة كل ذرة في الكون؟ بالطبع هذه فكرة غير معقولة. وإحدى الطرق لتلخيص المعلومات عن جزء ما من العالم الحقيقي الواقعي هو تصميم نموذج إفتراضي يحاكي الواقع. فعلى سبيل المثال، يمكن إن نصف قاعة دراسة عن طريق معرفة عدد الطلاب الموجودين بها، ودرجة الحرارة، وأوضاع الضوء وما إذا كان عاكس الصورة الضوئي يعمل أو مغلق، وللعديد من الأغراض ستكون

هذه المعلومات كافية. ولكن نموذجا إفتراضيا كهذا يستثني معظم المعلومات المحتملة أو الممكن الحصول عليها: فلا توجد مثلا أي معلومات عن جريان دم في جسد الطلبة أو أفكارهم وآرائهم عن جودة المحاضرة.

ثالثا: الأدوات الفيزيائية دائماً ما تكون مصدر إزعاج وأعطال، وبما أن المحسات أو الإستشعارات هي أدوات فيزيائية، فإن المعلومات التي تجمعها دائما ما تحتوي على أخطاء. وبالنظر الى هذه الاعتبارات نستنتج أن المعلومات التي تتوفر لدينا عن العالم الحقيقي الواقعي عادة محدودة، فهي غير كافية و غير مؤكدة و تقديرية ويمكن إستخدامها بهدف التنبؤ في حدود ضيقة: على سبيل المثال، وإذا كانت هناك ضوضاء لن تسمع السيارة التي تقترب من خلفك بسبب القدرات الفيزيائية المحدودة للأذن: حيث أنها تتعامل مع مجموع محصلة الضوضاء فقط لذا لا تستطيع التقاط صوت السيارة وحده وتميزه. ولاحظ أن هذه النقطة صحيحة دون النظر الى سرعة أو دقة محسات الكائن الإستشعارية: حتى إذا كانت لدينا كاميرا عالية الدقة، فعندما يصبح الجو معتما فجأة، فإن الصورة التى ستنقلها الكاميرا ستكون مشوشة. وهذا يوضح أن خاصية المعلومات التى يمكن أن يحصل عليها من أى كائن في العالم الحقيقي الواقعي تكون غير مؤكدة

ومحدودة في تنبؤاتها المستقبلية، وهذه حقيقية صحيحة لايمكن إغفالها.

رابعا: إن العالم الحقيقي الواقعي لا يمكن حصره في حالات معينة محدودة و وصفة بصورة متقطعة غير متصلة: فمثلا لا يمكن أن يكون الجو ببساطة إما سيئا أو جيدا، ولكنه يكون مشمسا، أوغائما،أو رطبا،أو عاصفا،أو كامدا، كل ذلك بشكل قليل أو كثير. لذلك لا توجد حالات متقطعة، ولذلك لايوجد أحداث واضحة محددة يمكن تنفيذها عندما يكون العالم الحقيقي في حالة معينة غير معرفة مسبقا: إنها فكرة جيدة أن تأخذ مظلتك معك عندما يكون الجو ممطرا بالخارج، ولكن ماذا لو كانت السماء مجرد غائمة فقط، أو ماطرة قليلاً، أو ربما تمطر في وقت لاحق؟ هذا النقص في تعريف وتحديد الحالات يختلف عن الحالات الرسمية مثل لعبة الشطرنج، حيث توجد مواقع محددة ومعينة تحتلها الاحجار على اللوحة –فالقطعة الحجرية إما أن تحتل مربعاً أو لا – ولكل موقع على اللوحة مجموعة محددة من التحركات كما أن المواقع محددة لكل قطعة حجرية ويمكن للاعب أن يختار تحريك الحجر نحوها.

خامساً: الكائنات في العالم الحقيقي دائما تفعل عدة أشياء ة في ذات الوقت: فالحيوانات لابد لها أن تأكل

وتشرب، ولكن في المقابل فإن عليها أن تكون حذرة من مباغتة الحيوانات المفترسة لها فتأكلها، وعليها بناء مساكنها وتنظيف نفسها والتنفس ومقاومة عدوى الأمراض والتكاثر والاعتناء بأطفالها وفصيلتها. وبالمثل، فإن الروبوتات التي يجب أن تعمل في الحياة الحقيقية الواقعية دائما لديها مهام عديدة لتنفيذها بطريقة موازية؛ مثال على ذلك: الروبوت الذي صمم ليقدم القهوة للموظفين في مكاتبهم، و يبقي نفسه في حالة عاملة، ويشحن بطاريته، و يتجنب الكسر أو الارتطام بالأشياء، وأن لا يؤذي البشر، كل ذلك عليه فعله أثناء تقديم القهوة. بالمقابل في العالم الرسمي للشطرنج، هناك شيء واحد فقط لعمله وهو: حركة واحدة في زمن معين لكي تربح اللعبة.

سادساً: يملك العالم الحقيقي الواقعي ديناميكية خاصة به –حيث تحدث أمور خارجية في العالم الحقيقي الواقعي و إن لم نفعل شيئا – لذلك هناك دائماً ضغط زمني بسبب التغيير المستمر، مما يُجبر الكائنات دائماً على العمل سواء أرادت ذلك أم لا. وفي العديد من الأوضاع الرسمية يستطيع الكائن أن يأخذ الوقت الكافي لتحديد السلوك أو العمل الذى سيقوم به. وأخيراً فيما يتعلق بهذه النقطة: إن العالم الحقيقي الواقعي ذو نظام ديناميكي حركي عالي

التعقيد، يجعل من غير الممكن التنبؤ به فعليا وذلك بسبب طبيعتة غير الخطية وحساسيته للأوضاع المبدئية (انظر إطار التوضيح4.1). (لقد صاغ هربرت سايمون (Herbert Simon) مصطلح (العقلانية المحددة: bounded rationality) ليدل على القرارات الجوهرية التي يمكن اتخاذها تحت ظروف مماثلة (سايمون: 1976 - 1969). وتلخيصا لما سبق وقبل الإستمرار، يتضح أن العالم الحقيقي الواقعي يتطلب وقتاً لإستخلاص المعلومات منه، والاستخلاص دائماً جزئي وعرضة إلى الخطأ؛ وأنه لا يمكن تقسيمه بصورة واضحة ضمن حالات متقطعة ومنفصلة؛ فالحياة تفرض على الكائنات العمل فيها والقيام بعدة أشياء في وقت واحد؛ وأخيراً ان العالم الحقيقي الواقعي يتغير من تلقاء ذاته، وليس استجابة لسلوك الكائن. إذا فالعالم الحقيقي الواقعي: messy " مشوش " وحافل بالتحديات. وبشكل واضح يوجد العديد من القيود التي يواجهها الكائن الفيزيائي نتيجة لكونه في العالم الحقيقي الواقعي: ببساطة هناك أشياء لا يستطيع الكائن القيام بها، مثل استخلاص و فصل المعلومات الصحيحة من المشوشة من البيئة وبشكل فوري. وفي الفصل القادم، سنصف كيف أن هذه القيود تفرض حدوداً صعبة على كائنات

العالم الحقيقي الواقعي ولكن في ذات الوقت تمدهم بالفرص.

إطار التوضيح 4-1
الأنظمة الديناميكية

هناك مراجع كثيرة عن الأنظمة الديناميكية الحركية، فبالرغم من أنه على المستوى العالي يوجد إتفاق عام حول المفاهيم الأساسية، الا أن النظرة الفاحصة عن قرب توضح أنه لازال هناك إختلاف شديد في الأفكار. وسوف نستخدم المصطلحات:(الأنظمة الديناميكية: dynamical systems) و(الفوضوية: chaos) والديناميكية غير الخطية، والأنظمة المعقدة بشكل مترادف لنشير الى هذا المجال البحثي الواسع، وذلك على الرغم من الاختلافات التي يتضمنها كل واحد من هذه المصطلحات. وهدفنا هنا هو إعطاء نظرة شاملة قصيرة جداً وغير رسمية عن الأفكار الأساسية التي نحتاجها لهذا الكتاب. وبالرغم من أننا لانستخدم النظرية الرياضية إلا أننا سوف نستخدم مفاهيم من نظرية الأنظمة الديناميكية، لأنها تعطينا مجموعة من الإستعارات الحسية للتفكير في الكائنات المجسدة وفي مجموعات الكائنات.

النظام الديناميكي في العالم الحقيقي الواقعي هو النظام الذي يتغير وفقاً لقوانين معينة: ويشمل مثلاً "الجرو" الروبوتي ذو الأربعة أرجل، اوالبشر، أوالأنظمة الاقتصادية، أوالطقس، والبندول الهزاز، أو مجتمع القرود. الأنظمة الديناميكية يمكن عمل نماذج لها بإستخدام المعادلات التفاضلية (أو مايناظرها من المتتاليات الرياضية). وتدرس النظرية الرياضية للأنظمة الديناميكية في الكيفية التي تتغير بها المتغيرات في هذه المعادلات في المدى الزمني: على سبيل المثال يمكن أن تستخدم الزوايا لمفاصل الجرو كمتغيرات في مجموعة المعادلات التفاضلية والتي تصف رياضياً

كيف يتحرك الروبوت. على أى حال، لتسهيل المسائل على القاريء فإننا لن نستخدم المعادلات التفاضلية في هذا الكتاب.

إن الأنظمة الديناميكية التى بحثنا فيها حتى الآن هي أنظمة غير خطية، لأن الأنظمة المثيرة في العالم الحقيقي الواقعي هي أنظمة غير خطية قياسية إلى حد كبير. وأحد الأفكار المترتبة على الأنظمة غير الخطية هي أننا لم نعد نستطيع إحلال الأنظمة أو تجزئتها إلى أنظمة فرعية ـ كما هو حاصل في الأنظمة الخطية ـ ومعالجة كل نظام فرعي بشكل منفرد وبعد ذلك إعادة تجميعهم لإعطاء الحل الكامل. في العالم الحقيقي الواقعي يفشل هذا المبدأ فشلاً ذريعاً؛ حين تستمع إلى أغنيتين من الأغاني المفضلة لديك في نفس الوقت فإنك لن تضاعف متعتك !! (نحن مدينون بهذا المثال لستروجاتز: 1994، S. Strogatz). وبالمثل فإننا لا نستطيع فهم حركة أحد أرجل الجرو دون الأخذ بعين الاعتبار كيف تتأثر بالأرجل الثلاثة الأخرى. وبعبارة أخرى يجب أن يُعالج النظام دائماً كوحدة كاملة (انظر إلى مفهوم الكائن المكتمل). خاصية أخرى مهمة للأنظمة غيرالخطية هي (حساسيتها للحالات الابتدائية: conditions sensitivity to initial): فإذا تم تشغيل النظام مرتين باستخدام الحالات الابتدائية ذاتها فإن النظام بعد فترة زمنية وجيزة قد يكون في حالات مختلفة تماماً. وهذا يتناقض أيضاً مع الأنظمة الخطية: أي نظامان يبدآن متشابهان فسوف يكون سلوكهما متشابه. ويعتبر الطقس مثالا شهيرا على النظام غير الخطي – فقد تُحدِث تغييرات صغيرة آثاراً ضخمة – وهذا ما يجعل التنبؤ بالطقس صعبا جداً.

في النظام تتمثل الفراغ (phase space: المرحلة الفراغية) الذي يستوعب كل القيم الممكنة لمتغيراته المهمة. فعلى سبيل المثال، في حالة الجرو الروبوتي، يمكن إختيار زوايا المفصل كمتغيرات هامة ويتم وصف حركة المفاصل مع طريقة تغير الزوايا ومع مرورالزمن. وفي حالة وجود مفصلين في الساق، فإن ذلك سيؤدي إلى تكوين ثمانية أبعاد من المراحل الفراغية: كل نقطة في

مرحلة فراغية تمثل مجموعة من القيم لجميع المفاصل. (وكبديل، يمكننا إستخدام لاصقات إستشعارية توضع على القدم فقط، وهذه طريقة مختلفة وابسط من غيرها لتعريف وتحديد المرحلة الفراغية، والتى تصبح عنئذ أربعة - أبعاد). فالنقاط المتجاورة في المرحلة الفراغية تمثل قيم متشابهة لزوايا المفاصل. وعندما يركض الجرو الروبوتي، فإن زوايا المفاصل تتغير بصورة مستمرة. وهكذا يمكننا القول بأن التغيرات التى تحدث تكون مناظرة لمسار النقطة في المرحلة الفراغية (إن قيم جميع زوايا المفاصل في لحظة معينة) تتحرك مع مرور الزمن. إن مسار هذه النقطة في المرحلة الفراغية، أي أن جميع قيم هذه الزوايا للمفاصل على المدى الزمني، تسمى مسار النظام.

هي الحالة المفضلة في (attractor state :إن (حالة الجذب المرحلة الفراغية التى سوف يتحرك نحوها النظام بصورة تلقائية إذا كان ضمن (مدى نطاق الجذب :basin of attraction).

وهناك أربعة أنواع من الجذب: النقطة، التكرار الدوري، شبه - الدوري، والفوضوية. إن النظم الفيزيائية مثل الجرو الروبوتي، من طبيعتها أن تكون لها حالات جذب. ومن المهم أن نعرف أن المشغلات الميكانيكية الجاذبة تعتمد دائما على الطريقة التى تحرك المشغلات وعلى الظروف البيئية.

إذا ركض الجرو واستقر بأسلوب سير معين وبخطوات ثابتة فإن زوايا المفصل بعد فترة قصيرة من الزمن (أقل من ثانية) سوف تكرر ذلك تقريباً، وهذا يعني أن المسار سيعود تقريباً إلى نفس الموقع السابق: وستكون قيم زوايا المفصل مشابهة جداً لما كانت عليه في الدورة السابقة. هذا السلوك الدوري يعرف بإسم (جذب دوري: periodic attractor) أو (جذب شبه دوري :quasi - periodic attractor) لأن الزوايا في العالم الحقيقي الواقعي لا يمكن تكرارها بالضبط. إن أساليب سير الجرو المختلفة يقابلها جاذبات دورية مختلفة أو شبه دورية مختلفة: كما هو موضح في شكل 4.2. اذا سقط الجرو وتوقف عن الحركة، عندها فان زوايا

مفاصله لا تتغير عبر الوقت، ويظل مسار المرحلة الفراغية ضمن نقطة واحدة: و تسمى جميع النقاط – ليس مصادفة – (جاذبات النقطة: point attractors). وأخيرا، إذا تحرك المسار ضمن نطاق منطقة الجذب المحددة وفي مرحلة الفراغ ولكن لا يمكن التنبؤ بسلوكه، فإن هذه المنطقة تسمى (جاذب التشويش: chaotic attractor). وتميل الأنظمة إلى الوقوع داخل أحد جاذباتها مع مرور الزمن: ويعرف مجموع المسارات المؤدية إلى الجاذبات بإسم مدى نطاق الجذب. فالجاذبات – وهذا وثيق الصلة بأفكارنا عن السلوك الإدراكي غير المبرمج (انظر الفصل الخامس) – يمكن التعرف على كياناتها بطريقة متقطعة و ضمن نظام مستمر: حيث تتغير زوايا مفصل الجرو الروبوتي بسهولة مع مرور الزمن، ولكننا نستطيع القول بثقة، عما إذا كان الجرو الروبوتي يسير أو يركض أو مازال واقفا.

مرة أخرى هناك مشكلة متعلقة بالإطار المرجعي. كيف تعرف أن النظام في حالة جذب؟ وكيف يستطيع الكائن نفسه معرفة ذلك؟ لذلك لابد وأن توفر طريقة لقياس معدل تغير النظام مع الزمن: فعلى سبيل المثال، إذا كنت مهتما بالتحريك، يمكنك قياس زوايا المفاصل مستخدماً الاستشعارات (كما في المثال السابق)، أو يمكنك تسليط إستشعارات الضغط على الأقدام. وعلى أساس هذه القياسات، يستطيع الروبوت (أو الباحث) اكتشاف حالات الجذب وقد يغير ذلك نمط تشغيله أو تحريكه: تغيير تردد تشغيله واختلاف الحالة بين سيقانه الأمامية والخلفية يغير ديناميكيته (مثلاً عندما تبدأ أرجله الأمامية بالإمتداد، فإن أرجله الخلفية تبدأ بالانثناء)، وهكذا فإن النظام قد ينتقل إلى حالة جذب أخرى، مثلاً من حالة السير إلى حالة الركض. وعلى الرغم من أن مفهوم الجذب قوي و قريب من البديهة، فمن الواضح أن الانتقال من حالة جذب الى حالة أخرى مهم على السواء، لتوليد سلوك متوالي.

إن حالات الجذب وطرق الوصل التى يتم عبرها الإنتقال من حالة إلى أخرى تعكس إتجاه طبيعة النظام الديناميكية – وفي حالتنا هذه

فإن النظام يقصد به هنا "الكائن". وإذا تم التأثير على الكائن بواسطة بندول (لتوليد حركة دورية زمنية منتظمة)، فإن النظام المكتمل سوف يستجيب إلى ترددات البندول و يدخل في حالة جذب حركية زمنية (شبه دورية) نتيجة لإقتران النظام الفيزيائي والعصبي ولكن لاتزال الفترة الزمنية شبه الدورية الناتجة مختلفه عن تلك التى حددها البندول في بداية حركته. هذه الظاهرة تعرف بـإسم التردد الناتج سيمثل :(entrainment mutual :(التبادل المرن دور "وسطي" بين جميع الأنظمة ذات العلاقة (انظر أيضاً مناقشتنا على نوع سمك (Sten Grillner) حول تجارب ستن جريلنر الجلكي في الفصل الخامس).
للذين يودون التعرف أكثر على الأساسيات الرياضية للأنظمة الديناميكية ننصحهم بـقراءة ستروجاز (Strogatz) (1994)، و (Port) والذين يهتمون بتطبيقات الإدراك ننصحهم بقراءة بورت فان جيلدر (van Gelder) (1995).

إن القيود والفرص يمكن وصفها كمجموعة من الخصائص التي تشترك فيها جميع الكائنات المكتملة.

4.2 خصائص الكائنات المكتملة:) Properties of Complete Agents)

وفيما يلي الخصائص الأكثر أهمية للكائنات المكتملة والتى تأتي نتيجة عن طبيعتها المجسدة:

1. إنـها تخضع للقوانين الفيزيائية الطبيعية (تبديد الطاقة – الاحتكاك – الجاذبية الأرضية)
2. إنـها تولد المحفزات الاستشعارية من خلال الحركة وبشكل عام من خلال التفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي.
3. إنـها تؤثر على البيئة من خلال السلوك.
4. إنـها أنظمة ديناميكية معقدة وعند تفاعلها مع البيئة تولد حالات جذب.

5. إنها تؤدي (عمليات حاسوبية للشكل البنيوي الجسدي: morphological computation).

النقطة المثيرة هنا هي أن هذه الخصائص ببساطة نتائج حتمية للتجسيد، وهذه هي أيضا الخصائص التى يمكن إستغلالها لتوليد السلوك، أما الكيفية التي يتم بها ذلك فسيكون محدداً في مبادئ التصميم. ولكن قبل أن ننتقل إلى مبادئ التصميم دعونا نوضح بإيجاز كل خاصية من هذه الخصائص على حدة.

1. الكائنات المكتملة تخضع للقوانين الفيزيائية الطبيعية. فالسير يتطلب طاقة واحتكاك و جاذبية أرضية حتى تتم عملية السير. وحيث أن الكائن مجسد، فإن له نظام فيزيائي (سواء أكان حيويا أم لا) وبهذا يكون خاضعا للقوانين الفيزيائية الطبيعية والتى لا يوجد احتمال للفرار منها؛ فإذا قفز الكائن في الهواء، فمن المؤكد أن جاذبية الأرض ستجذبه وتشده للأسفل. وعليه فإن على الكائن التقيد أوالاستجابة لهذه لقوانين الطبيعة (انظر لمناقشتنا حول التقيد والاستجابة في الفصل الثالث).

2. الكائنات المكتملة تولد المحفزات الاستشعارية. فعندما نسير، نولد محفزات استشعارية، سواء رغبنا في ذلك أم أبينا: وعندما نتحرك تبدو الأجسام وكأنها تعبر من حولنا (وهذا يطلق عليه (التدفق البصري: optic flow))، وأثناء الحركة فإننا نحدث رياحاً، نشعر بها في جلودنا وشعرنا؛ وكذلك السير يحدث أنماط ضغط على القدمين؛ والتى نستطيع من خلالها الشعور بالراحة والإنثناء الطبيعي لعضلاتنا، مع تحريك ساقينا.

3. الكائن المكتمل يؤثر في بيئته: فعندما نسير فوق المروج الخضراء، فالعشب يُسحق تحت أقدامنا؛ وعندما نتنفس، نحن نخرج هواء في البيئة؛ وعندما نسير ونحرق الطاقة، فنحن نسخن البيئة؛ وعندما نشرب من الكأس، فنحن نقلل كمية السائل الموجودة في الكأس؛ وعندما يسقط منا كأس، ينكسر، وعندما نتكلم، نصدر موجات ضغط في الهواء؛ وعندما نجلس علي الكرسي، يصدر صريرا وتسحق وسادة المقعد لجلوسنا عليها.

4. تميل الكائنات إلى الاستقرار عندما تدخل في حالات الجذب. والكائنات عبارة عن أنظمة ديناميكية حركية، وهي في حد ذاتها لديها ميل إلى الاستقرار عندما تدخل فيما يسمى بحالات الجذب. فالخيل، على سبيل المثال، يمكنها السير والهرولة والجري والعدو – ونحن أو على الأقل الخبراء منا – يمكنه بوضوح تحديد متى يكون الخيل في أحد هذه الحالات من السير، والمصطلح العلمي الأكثر تحديدا هو سلوكيات السير. هذه الطرق للسير يمكن إعتبارها على أنها حالات جذب. فالخيل دائماً يكون في أحد هذه الحالات، باستثناء فترات قصيرة من الوقت الذي ينتقل فيه بين حالتين من السير؛ مثلاً من الجري إلى العدو. ويجب علينا أن نشير هنا إلى أن حالات الجذب التي يصبح الكائن بها مستقرا فيها هي دائما نتيجة تفاعل ثلاثة من الأنظمة: جسم الكائن، و دماغه (أو نظام التحكم)، وبيئته. ولأن مفهوم الأنظمة الديناميكية وحالات الجذب مهمة لنقاشاتنا، فإننا سوف نسهب في شرحها أكثر بالرجوع إلى دراسة حالة الجرو العداء ذو الأربعة أرجل، والذي قمنا بالتعريف به في الفصل الثالث (انظر إطار التوضيح4.1 والفصل الخامس).

5. تؤدي الكائنات المكتملة عمليات حاسوبية للشكل الجسدي. وما نعنيه بالمصطلح "عمليات حاسوبية للبنية الجسدية: morphological computation" هو أن هناك عمليات معينة يؤديها الجسد عادة يقوم بها الدماغ (انظر الشكل 4.1). ويوضح المثال أن عضلات وأوتار أرجل الإنسان وحتى الركبة مخلوقة مكوناتها من مادة ذات طبيعة مطاطية، فعندما تطأ القدم الأرض أثناء الجري فإن الساق تقوم بالحركات الملائمة التى تتكيف مع الحركة، ويتم ذلك دون تدخل من جهاز التحكم العصبي. حيث أن التحكم يتم من خلال (نظام عضلي - وتري: muscle - tendon system) يعتبر جزءا من مكونات البنية الجسدية.

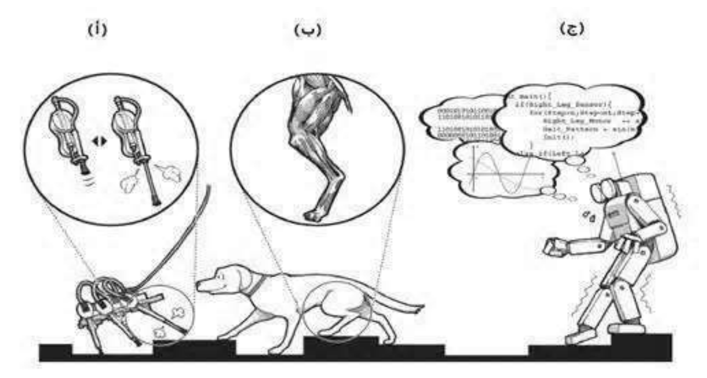
من المثير ملاحظة أن الأنظمة عادة تكون غير مكتملة، بمعنى أنه من الصعب أن تتوفر لديها جميع هذه الخصائص في كل الأوقات. فعلى سبيل المثال، يتكون

النظام البصري الحاسوبي من كاميرا ثابتة وحاسوب مكتبي، وهذا بدوره لا يولد محفزا استشعاريا لأنه لا يستطيع انتاج سلوك، ويقتصر تأثيره على البيئة فقط من خلال إنبعاث موجات الضوء والحرارة التي تصدر من شاشة الحاسوب. وعلاوة على ذلك فإن هذا النظام البصري الحاسوبي لا يؤدي عمليات حاسوبية للبنية الجسدية ولا يملك حالات جذب فيزيائية طبيعية تفيد النظام.

الجرو الروبوتي ذو الأربعة أرجل كنظام ديناميكي حركي:

(The Quadruped Robot Puppy as a Dynamical System)

فيما يلي سوف نستخدم الجرو الروبوتي لنوضح كيف يمكن للإدراك أن ينشأ من خلال تحركات بسيطة و أساسية كالسير أو الجري. وسنحاول توضيح هذ الفكرة وهي التحول من التحريك إلى الإدراك باستخدام العبارة: ": منهجية الادراك الذاتي من الأسفل إلى الأعلى bootstrapping cognition from the bottom up "، وذلك حتى يتم تميزها عن هدف الذكاء الاصطناعي التقليدي، الذي كان إلى حد ما يعتمد على برمجة " التفكير"، بطريقة مباشرة في الكمبيوتر.

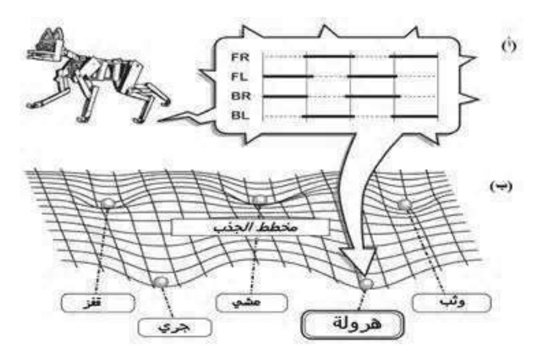


الشكل 4.1

يستغل (Sprawl) عمليات حاسوبية للبنية الجسدية. (أ) الروبوت سبرول الخصائص المادية من إمتداد ساقيه من أجل التحرك السريع. إن مرونة المفصل الخطي والمزود بنظام ضغط هوائي يساعد الروبوت على التكيف الذاتي أثناء تحركه فوق أرضية غير مستوية وهذا يقلل الحاجة للعمليات الحاسوبية الكثيرة. (ب) حيوان يستغل الخصائص المادية لساقيه (المرونة المتوفرة في نظامه العضلي الوتري). (ج) الروبوت المصنع من مواد صلبة غير مرنة يجب أن يستعمل نظام تحكم معقد جدا ليتحكم بتوازنه على أرض غير المستوية مما يجعله بطيئا جداً.

لقد أشرنا إلى أن الجري يعتبر مشكلة صعبة في علم الروبوتات. كما أن حركة الجري تتضمن لحظات معينة والتى تكون فيها الأقدام غير ملامسة للأرض ويصبح فيها الجسم بأكمله بعيدا عن الأرض في (حالة طيران :flight phase)؛ أما (حالة الثبات :stance phase) فنرمز لها إلى ما تبقى من الزمن، وعندما تكون واحدة أو أكثر من الأقدام على الأرض. الشكل 3.2 يعرض بعض التفاصيل عن البنية الجسدية للجرو الروبوتي. استمراراً لما وصفناه في الفصل الثالث، فهناك نابضان مثبتان بكل ساق، وهذا التصميم مستوحى من

الأنظمة العضلية الوترية لدى الحيوانات ذوات الأربع الأرجل. بالإضافة إلى ذلك توجد شفرة معدنية مطاطية قوية قابلة للإنثناء إلى الأعلى وإلى الأسفل، أضيفت بحيث تزود الروبوت بعمود فقري مرن على الرغم من اختلافه في التصميم عن الفقرات الفصية في الحيوانات وكلمة) " Kenta :أو الروبوت شبه البشري "كينتا " tendon boy :كينتا تعني "الطفل الوتري باليابانية. وسيتم العودة لكينتا في الفصل الخامس). تزود النابضات والشفرة الجرو الروبوتي بحركة أكثر مرونة وإحساس عضوي مقارنة بمعظم الروبوتات الأخرى، والتى صممت بطريقة هندسية محكمة وتتحرك بصورة إلكترونية غير مرنة مستخدمة برامج تحكم معقدة وقوة محركة دافعة شديدة: ولقد تمت محاكاة ساخرة لهذا الجانب من علم الروبوتات التقليدي برقصة تسمى " كانت شائعة في السبعينات " Robot :الروبوت والثمانينات والتي تتطلب من الراقص أن يقف بصرامه و يقوم بسلسلة من الحركات المتقطعة الموضعية المشابهة لحركات الروبوت.



الشكل 4.2

حالات الجذب. (أ) أنماط السير المختلفة " للجرو الروبوتي" كما سجلتها إستشعارات الضغط على القدمين: و في الرسم الذي علي شكل بياني تدل الخطوط الداكنة على الزمن الذي تتم فيه ملامسة القدم للأرض بينما الخطوط المتقطعة تدل على عدم ملامستها. إن أنماط السير هذه تتوافق مع حالات الجذب للنظام الجسدي / العصبي المشترك. (ب) يوضح أنماط السير "مخطط الجذب: attractor landscape). وتتوافق أنماط السير هذه مع أقل نطاقات للطاقة في مخطط الجذب.

صنع الجسم والساقان والقدمان من الألمنيوم، وهذا يقتضي أن تنزلق القدمان قليلاً على بعض الأسطح، ولقد إتضح أن هذا الانزلاق سيكون عنصرا مهما في حفظ توازن الروبوت عندما يركض: إذا ضاعفنا الاحتكاك بوضع وسادات مطاطية على القدمين فإن ذلك سيخل من توازن الروبوت وسيكون إحتمال السقوط ًقوياً. ومايفعله جهاز تحكم الجرو الروبوتي ينحصر في تحريك الساقين للأمام والخلف بطريقة دورية منتظمة. وعندما يتم وضع الروبوت على الأرض فإنه وبعد خطوات قليلة سوف يستقر ضمن إيقاع جري طبيعي: إن تفاعل الروبوت مع البيئة يؤدي إلى ظهور نمط سير معين (انظر الشكل

4.2). فعلى سبيل المثال، ترتفع جميع الأرجل الأربعة معاً عن الأرض لفترة قصيرة من الوقت بشكل عرضي، مما يدفع الروبوت إلى دخول متبادل بين حالات الطيران وحالات الثبات.

وفي تجربة الجرو الروبوتي، فإن السرعة التي يركض بها الروبوت، لا يمكن أن يتم تغييرها على نحو اعتباطي حتى وإن كان من الممكن تغيير سرعة المحركات الدافعة: وعليه فإن الروبوت يتحرك، ينتصب واقفا، أو يسقط ضمن نطاقات معينة، ولكنه ضمن نطاقات أخرى مختلفة تظهر له أساليب سير ثابتة. سنقدم الان بعض الملاحظات الهامة حول سلوك الجرو. أولاً، عدد الخطوات الثابتة لأي نظام تكون محدودة: أن للروبوت عدد معين من الأرجل (أو للحيوان، لغرض السير) تؤهله لسرعات محددة و مفضلة تتطابق مع تلك الخطوات. ثانياً، لأن خطوات السيرهي حالات جذب "يستقر falls into" فيها الروبوت بناء على سرعات المحرك الدافعة، وبناء على الشكل البنيوي الحسى الجسدي للروبوت وبيئته، فإن الروبوت سوف يستقر في حالة جذب بعد أن يصاب بحالة تشويش قليلاً. فعلى سبيل المثال، عندما ينتقل الروبوت من منطقة ملساء إلى أخرى خشنة فإنه قد يواجه القليل من الصعوبة، ولكن عندما

يعاود الدخول في منطقة البيئة الملساء فإنه سيعود ويدخل مرة أخرى في حالة السير الأصلية. ومن ناحية أخرى، إذا كان مستوى التشويش كبير جداً فإن الروبوت سيغير سلوكه ويدخل ضمن حالة جذب جديد: قد يسقط ثم يستقر، أو قد يسقط على جانبه ويرفس نفسه أثناء دورانه على شكل دائرة (مقلدا ألاعيب المسرح الشهيرة لـ أنجوس ينغ (Angus Young)، وهو عازف قيثارة وقائد فرقة الروك (آي سي/ دي سي :AC\DC))، أو قد ينتقل من حالة الجري إلى حالة السير. أما إذا لم يكن مقدار التشويش كبير جداً فإن النظام سيعود ويدخل مرة أخرى في حالة الجذب الأصلية: كما أشرنا سابقا. وتسمى المنطقة التى تقع فيها هذه الحالات بإسم (نطاق الجذب: basin of attraction). النقطة الهامة هنا هي أن هذا العودة والدخول مرة أخرى في حالة السير الطبيعية –أو الدخول في حالة سير جديدة –لا يتطلب التحكم من خلال برنامج نشط في وحدة المعالجة للروبوت ولكن يتطلب أن يظهر نمط السير بشكل طبيعيً كنتيجة عادية يمكن توقعها: البنية الجسدية للروبوت وبيئته. وثالثاً، والذي يتعلق بهذه النقطة، إن بعض أنماط السير أكثر ثباتاً من الأخرى، أي أن لها نطاق جذب أكبر.

أحد الاختلافات الكبيرة بين الروبوت ذو الأربعة أرجل والروبوت ذو العجلات هو أن الروبوتات ذوات العجلات يمكنها التحرك إلى حد كبير بأي سرعة، كما يمكنها أن تسرع وأن تبطيء بشكل مستمر. وبمعنى أخر، ليس هناك أنماط حركية أو سرعات محددة تميزها عن بعضها بشكل واضح، ربما باستثناء الوقوف. وبالمقابل فإن الروبوتات ذوات الأربعة أرجل والحيوانات لديها سرعات مفضلة، متوافقة مع أنماط السير المختلفة: فالسير السريع جدا أو الركض البطيء جداً غالباً ما يُشعرنا بعدم الراحة، فنميل إلى أن نبطئ أو أن نزيد من السرعة. في حالة الروبوتات ذوات العجلات، مثل الروبوتات ذوات الأرجل، من الممكن أيضاً أن تكون لديها حالات جذب، ولكن بسبب ديناميكيتهم و حركتهم البسيطة، فإن حالات الجذب تكون أقل إثارة وبالتالي فإن عدد هذه الروبوتات أقل بكثير من المتوقع. فعلى سبيل المثال، تتحرك عربة بيرتنبرغ - Braitenberg) لها ذات سلوك عربة style vehicle) بحثا عن الإضاءة ونحو مصدر الضوء من خلال تأدية نوع من سلوك " الالتواء:wiggling ": حيث يتجه الروبوت دائما نحو اكثر الإستشعارات تحفيزا للضوء، والذي يسبب توجه وحدة الإستشعار في الجهة المقابلة فيما بعد بالتحرك نحو

الضوء ليصبح أكثر تحفيزا، مما يجعل الروبوت يتراجع للخلف أو يتقدم إلى الأمام. وهذا السلوك يمكن أن يطلق عليه حالة جذب الروبوت.على أية حال، سوف لن يكون هناك الكثير منهم. والمهم هنا هو أن جميع الأنظمة الفيزيائية ؛ ولأنها طبيعية، سوف تملك حالات جذب، ولكن الأنظمة التى يكون بنيتها الجسدية أكثر تعقيداً ،سيكون لديها حالات جذب أكثر(كوفمان، 1993 Kauffman,). على الرغم من أننا حتى الآن حصرنا أنفسنا على الروبوتات البسيطة، إلا أننا في المستقبل نريد أن نعمل على روبوتات أكثر تعقيداً ولها عدد كبير من حالات الجذب. ومن المهم أن نملك العديد من الروبوتات، لأن حالات الجذب قد تصبح في نهاية المطاف هي لبنات الأساس لتكوين (وحدات بناء building: blocks) الإدراك، كما سنرى بالتفصيل لاحقاً. وبالنسبة للوضع الراهن، يكفي التفكير في علاقات الربط بين حالات الجذب والإدراك إذا تم التكيف مع المفهوم المجازي القديم: كلما إتسع عرض القاعدة (زادت حالات الجذب)، وكلما إرتفع البرج إلى أعلى (تكثر احتمالات دمج حالات الجذب). في الفصل القادم سوف نكتشف كيف يمكن استخدام حالات الجذب لتشكيل القاعدة لنوع نظام معالجة الرموز.

ولإيجاز مناقشتنا حتى الآن: لابد وأن تستجيب الكائنات المكتملة للقوانين الفيزيائية؛ وأن تولد تحفيزا حسياً عندما تعمل، وأن تؤدي عمليات حاسوبية للبنية الجسدية – حيث تتمكن الأجسام من تأدية الوظائف بطريقة أخرى والتى عادة ما يتم تأديتها من خلال الأدمغة – وأخيراً فالكائنات المكتملة هي أنظمة حركية ديناميكية وسلوكها يمكن إعتبارة كحالات جذب. بالإضافة لذلك، على خلاف الأنظمة الرسمية فالحياة الحقيقية تتسم بالفوضوية، إذا جاز التعبير، فنحن لا نستطيع أن نتوقع نظرية بديهية واضحة تماما أو مجموعة من المبادئ المتتابعة والمستنبطة من بعضها منطقياً. إذا مجموعة مبادئ التصميم والتى سنستعرضها ليست نظاما رسميا، ولكنها مجموعة من التصاميم الإجتهادية (والتى قد تكون مطورة ذاتيا) مترابطة على مستوى عالي ومعتمدة على بعضها البعض كما أنها تزودنا، من جهة، بإرشادات عن كيفية الشروع في بناء الكائنات، ومن جهة أخرى تصف طبيعة أنظمة الذكاء. فهناك تداخل جزئي ومستوى معين من التكرار مابين المبادئ، ولكن هذا غير مرغوب فيه: فهي تدعم بعضها البعض بسبب هذا التداخل. علاوة على ذلك، فإن جميع مبادئ التصميم تنطبق على جميع الكائنات بدرجة أكبر أو أقل. وأخيراً، يجب أن تدرس

المبادئ الفردية مقترنة ضمن محتوى المبادئ الأخرى: فهي تشكل مجموعة معتمدة على بعضها البعض ولا يجب دراستها بشكل منفرد.

والآن دعونا ندرس بشكل دقيق مبادئ تصميم الكائن الواحدة تلو الأخرى.

4.3 المبدأ الأول في تصميم الكائن: (مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة:

The Three - Constituents Principle))

إن تصميم الكائن الذكي يتضمن الثلاثة العناصر التالية متناهية الدقة: (1) تعريف (البيئة المحيطة المخصصة بالكائن (2) تعريف السلوكيات ecological niche) المرغوبة والمهام المطلوبة منه (3) تصميم الكائن.

الذكاء، كما سبق وأشرنا، ليس خاصية في الكائن، كما أنه ليس ال " شيء " الذي يبقى في صندوقا داخل دماغ الكائن، ولكنه بالأحرى ينشأ من تفاعل الكائن مع بيئته الطبيعية والاجتماعية. لذا فإنه عند تصميم الكائن ليس من الكافي التركيز على ذات الكائن ولكن يجب التفكير أيضا في البيئة المخصصة التي سيؤدي وظائفه فيها، بالإضافة إلى السلوك الذي يفترض أن يؤديه الكائن.

يمكن تلخيص مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقةعلى النحو التالي. إن تصميم الكائن الذكي يتضمن العناصر

المتناهية الدقةالتالية:(1) تعريف بيئة محيطة مخصصة بالكائن (2) تعريف السلوكيات المرغوبة والمهام المطلوبة منه (3) تصميم الكائن ذاته. إن العنصرين متناهيين الدقةإجمالا يطلق عليهما مهام البيئة. فالبيئة المحيطة المخصصة للكائن، في هذه الحالة للروبوتات، هي دائماً البيئة الطبيعية الفيزيائية والاجتماعية: لروبوتات التسلية فالبيئة المخصصة تشمل منازل الأطفال، أناسا آخرين، كالأشقاء والوالدين والأصدقاء والحيوانات المنزلية. سنركز في هذا الفصل على المظاهر الطبيعية لمهام البيئة، وفي الفصل القادم سنأخذ في الإعتبار المظاهر الاجتماعية.

(ثبات التصميم: Design Stances)

إذا صممنا روبوت لتسلية الأطفال، فإن وظائفه ستكون محصورة داخل المنازل الإنسانية وعليه أن يتبع السلوك الذي يضمن إنجازه الهدف المطلوب منه: إبقاء الأطفال مستمتعين ومسرورين لأطول فترة ممتدة من الزمن. لذا فإن إيجاد أنواع الخصائص والسلوكيات التي لابد أن تكون لدى الروبوت لتحقيق هذا الهدف يعد تحديا كبيرا. فالروبوتات حسنة السلوك مثل آيبوا (AIBO) والذي يعني (الروبوت ذو (Sony)التابع لشركة سوني الذكاء الاصطناعي، ولدى اليابانيين يعني أيضاً شيئاً ما

التابع لـشركة (NeCoRo) مثل "رفيق") أو نيكورو ويعني (القطة الروبوتية المكسوة بالفرو) (Omron) ويعني (NEC) التابع لشركة (PaPeRo) أو بابيرو (الروبوت الرفيق الشخصي) وهو إلى حد ما يستطيع الإستجابة للجمل المنطوقة بواسطة رفيقه البشري، وجميعها تعتبر نماذجا عامة لفصائل الروبوتات الحسنة السلوك. كل هذه نماذج معروفة لهذا النوع الخاص من الروبوتات. وأمثلة أخرى لروبوتات أكثر بساطة تلك المستخدمة لتهذيب المروج أو لتجميع الدراجات البخارية على خطوط التجميع في المصنع: وفي هذه الحالات فإن المكان البيئي المخصص والسلوكيات المطلوب إنجازها يمكن تعريفها بوضوح أكثر.

أثناء تصميم مثل هذه الروبوتات فإن البيئة المحيطة المخصصة هي –بيئات المنازل البشرية، والفناء الخلفي والمصانع –والسلوكيات والمهام المطلوب تنفيذها تتم كما حددت، وقد صمم الكائن بحيث يتفاعل مع البيئة، وبذلك تنتج السلوكيات المطلوبة بعد تكيف الروبوت مع البيئة وبدون برمجته لإنجاز مهامه. ولكن هناك إصدران آخران لتصميم المهام. البديل الثاني، هو أن تأخذ الروبوت المصصم وتضعه داخل البيئة المحيطة المخصصة ثم تراقب أي أنواع السلوك سيتبع الروبوت.

والثالث، معطى الروبوت والسلوكيات التى سيتم إنجازها – والمطلوب البحث عن البيئية المحيطة المخصصة التى يستطيع الروبوت أن يؤدي وظائفه فيها بصورة ملائمة. وسوف نعطي بعض الأمثلة عن "ثبات التصميم: design stances " في هذا الفصل وكذلك في الفصل التاسع أثناء مناقشة مبادئ التصميم لتطبيقات الأعمال والتجاره.

لنستعيد نقاشنا عن الإطار المرجعي وعن أنماط سير الجرو الروبوتي، ذلك السلوك الذي ينشأ دائماً من تفاعل الكائن مع البيئة دون برمجة السلوك مباشرة داخل الروبوت. لذلك فإن سلوكيات الروبوت يمكن فقط تصميمها بطريقة غير مباشرة: ولإستخدام المصطلح الذي قدمناه في الفصل السابق، يجب أن نصمم من أجل السلوك غير المبرمج أو النشوء. إذا أردنا أن نجعل الروبوت يسير فلابد أن نأخذ في الإعتبار خاصية التكيف: بحيث يستطيع الروبوت أن يحتفظ بتوازنه مع الأرض غير المستوية، والمنحدرات، والسير فوق المادة الرخوة، والسير أثناء حمل شيء ما، وهكذا. فيصبح من المستحيل أن نبرمج مسبقا جميع الأنواع المختلفة للسير والتى يبلغ عدد حالاتها ما يقارب اللانهاية لتنوع تفاعل الكائن مع البيئة والتي سوف تصادف الروبوت في الحياة الحقيقية

الواقعية. ببساطة أشد، إذا كانت جميع حركات السير مبرمجة ومعرَّفه من قبل، فإن الروبوت سيسقط كلما ظهر شيء غير متوقع في بيئته – شيء لم يبرمج داخل الروبوت – وبالفعل، فإن العديد من الروبوتات تسقط عندما تواجه أرض غير مستوية.

إن العلاقة بين الكائن و البيئة المحيطة المخصصة علاقة معقدة، لذلك دعونا نناقش بإيجاز بعض النتائج. أولاً: إن البيئة المحيطة المخصصة للروبوت ليس ببساطة هي البيئات التي يمكن للروبوت أن يعمل فيها بنجاح: فكما في الأحياء، هناك تنافس دائم على الموارد. فمثلا روبوتات التسلية لاتتنافس فقط مع روبوتات تسلية آخرى، ولكن أيضاً مع الألعاب والحيوانات الأليفة والبشر. أخيراً، فإن السوق التجاري سوف يقرر إذا كان أي من روبوتات التسلية سيشارك بيئته المتخصصة مع قاطنين آخرين (كالألعاب والحيوانات الأليفة و البشر). من ناحية أخرى، إذا كنا من المهتمين بتوضيح سلوك الأنظمة الطبيعية فيمكننا البدء بتأمل مجموعة محددة من السلوكيات، ونحاول أن نحدد البيئة المحيطة المخصصة، ثم بعد ذلك نتسائل عن الكيفية التي تحدث بها السلوكيات. إن سلوك التوجه لدى نمل الصحراء والذي سبق وناقشناه هو مثال توضيحي جيد لهذه النقطة. إن

إستشعاراتهم الحسية و العالية التخصص تمكنهم من التنقيب في مساحات واسعة وكبيرة وهذه نسبيا تعتبر منطقة مستقرة. فقد التعرف على صفات هذه البيئة المحيطة المخصصة الفريدة –الصحراء – ساعد علماء الأحياء على فهم سلوكهم بصورة أفضل.

كما يمكننا أيضا النظر إلى مشكلة التصميم من منظور مختلف. فإذا كان لدينا كائن مصمم من قبل لبيئة مخصصة ومحددة، مثل الروبوت آيبوا والذي صمم للتسلية، فباستطاعتنا وضعه بداخل بيئته محيطة مخصصة مختلفة عن البيئة التي صمم لها ولنتأمل ونسأل أي أنواع من السلوك غير المبرمجة سوف تنشأ. فالشركة التى أنتجت روبوتا ووضعته في الأسواق قد تبحث عن بيئة محيطة مخصصة إضافية يعرض فيها الروبوت سلوكياته الجذابة وينجز مهامه ببراعة، وذلك بهدف التوسيع من قاعدتها الاستهلاكية. وعلى سبيل المثال، بالإضافة إلى كون آيبوا روبوتا مفيدا في المنازل، فقد يمكن إستخدامه أيضاً كوسيلة مساندة في التعليم المدرسي.

لازال هناك جانب آخر يمكن من خلاله دراسة مشكلة التصميم. فالمهندسون غالباً – والأذكياء منهم – يصممون الكائن و البيئة المحيطة المخصصة في ذات

الوقت لأنه بهذه الطريقة يمكنهم تحقيق حلول أفضل. ويعتبر نظام تحديد المواقع العالمي أو (جي بي إس :GPS) مثالا جيدا لتوضيح هذه الفكرة. إن وضع الأقمار الصناعية في السماء يحل وبشكلٍ كبير مشكلة البحث والتنقيب على الأرض بصورة نهائية، وعلى الأقل في الأرض الفضاء؛ إن الروبوتات التي تحتاج توجيه ذاتها يمكن صنعها ببساطة وذلك لأنها لا تتطلب استراتيجيات ملاحية تنقيبية متطورة، وإنما هي بحاجة فقط لنظام إستشعاري يقوم بضبط إشاراتها نحو نظام تحديد المواقع العالمي.

(Scaffolding:التنصيب)

يصف التنصيب الطريقة التي نشيد بها، نحن والكائنات الأخرى، البناء والتعمير في بيئاتنا لتبسيط مهامنا. وفي نظام تحديد المواقع العالمي مثلاً، فإن وجود العديد من الأقمار الصناعية في الفضاء يجعل مهام الروبوتات – وعدد من سائقي السيارات – أكثر سهولة. ومثال آخر هو استخدام اللوحات الإرشادية على الطريق: إذا وضعت اللوحات الإرشادية بشكل دقيق فإن السائق لن يحتاج بالتأكيد إلى معرفة جغرافية، ويمكنه بسهولة الوصول إلى الموقع المطلوب ببساطة من خلال إتباع اللوحات الإرشادية. وهكذا فإن التنصيب الملائم، سيجعل

الميكانيكية المتطلبة في عمليات البحث غير عالية التكلفة و ناجحة، على سبيل المثال: لن يكون هناك إحتياج لتخطيط السير في المسار المعين أو إحتياج إلى مراجعة الخريطة للوصول إلى الهدف المطلوب. وهذا يعتبر مثالا لمبدأ التصميم الزهيد أو الرخيص، والذي سوف نناقشه في الفقرات التالية. حيث تزودنا تقنية المعلومات والاتصالات بأساليب تنصيب قوية، ترفع قدراتنا الفكرية إلى مستوى أعلى بكثير من أسلافنا قبل ألفين عام، على الرغم من أن أدمغتنا لم تنمو في هذه الأثناء بشكل مختلف. كذلك فإن (علم المعلوماتية الحيوية: Bioinformatics)، وهو نتيجة مزج مجموعة من الوسائل والأدوات العلمية الجديدة، وقواعد البيانات، وربط الشبكات التقنية، والكشف عن الأنماط ونمذجة اللوغوريتمات، كل ذلك وفر لنا "التنصيب أو التشييد" الذي مكّن مجتمعِ البحث العلمي من تعقب (الجينوم: genome) أو ما يطلق عليه الموروث البشري.

بعيداً عن التقنية، فإن اللغة وسيلة أخرى فعالة جداً في التنصيب: لأن معارفنا قد دونت في الكتب وهكذا انتقلت، لذا فنحن الآن نملك القدرة على أداء مهام والتي لم يكن من الممكن ادآئها قبل وجود اللغة المكتوبة. وفي الوقت الحالي يمكننا البناء على ماقد أسُس ودُون من

قبل: بمعنى أن الأفكار في النص الواحد تعتمد (بطريقة مباشرة أو غير مباشرة) على تلك التي في النصوص المدونة الأخرى وهكذا. ولقد امتلأت الشبكة العنكبوتية العالمية – بالنصوص والصور والصوت والفيديو – والتي جعلت الأفكار أكثر بساطة وأكثر وضوحاً وسهلت الوصول إلى المعلومة. وتعد اللغة الطبيعية وتقنية المعلومات من أقوى وسائل التنصيب، وهذه الفكرة طورت في الكتاب الرائع للفيلسوف البريطاني آندي كلارك (Andy Clark)، (الطبيعي – التوليد الحيوروبوتي: Natural - Born Cyborgs) وللتذكير فإن المقصود به توليد الأجزاء الروبوتية المدمجة مع الجينات الطبيعية.

ولنتذكر كيف أن الكائنات المجسدة تؤثر في بيئاتها عند تشغيلها: مثل " الروبوتات السويسرية" التي تتكتل، كما تترك مساحة خالية لتتحرك فيما حولها. ولكن امثلة استغلال البيئة لخدمة أغراضنا يمكن أن نجدها في كل مكان: فنحن نأخذ ملاحظات، ونكتب وثائق، ونخزن أشياءً داخل أجهزة الكمبيوتر، ونستخدم (حواشي الملاحظات الورقية – ملصقات: sticky - note pads)، ونخزن أرقام هواتفنا في الخلويات المحمولة، وننشر معلومات على لوحة الإعلانات ونلتقط الصور

والفيديو، وننشىء صفحات بالشبكة العنكبوتية. وهكذا فإن هناك فائدة واضحة نحصل عليها من تغيير بيئتنا لتبسيط حياتنا – وهو مايعرف بتنصيب بيئاتنا – إنه حقا من المدهش ملاحظة أن معظم الروبوتات لم تغير من بيئاتها بشكل ملحوظ بحيث تجعل مهامها أسهل! وهكذا، فإن التنصيب يعتبرجزءا مهما في مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة، لأنها تتطلب الإهتمام بالبيئية المحيطة المخصصة للكائن، وتحديد المهام التى تؤديها، والكيفية التى لابد أن يصمم بها هذا الكائن.

4.4 المبدأ الثاني تصميم الكائن: (مبدأ الكائن المكتمل: The Complete - Agent Principle)

ينص مبدأ الكائن المكتمل على أنه عند تصميم الكائنات يجب التفكير بسلوك الكائن المكتمل في العالم الحقيقي الواقعي.

هذا المبدأ يتناقض مع المثل القائل " فرق تسد divide and conquer" والذي إجتاح إفتراضيا جميع الفروع العلمية: وهو عمليا تحليل وتفكيك المشكلة أو النظام إلى أنظمة فرعية أبسط والتى يمكن تطويرها فيما بعد بشكل منفصل. وكون هذه الأنظمة الفرعية تم تصميمها، فإنه من الممكن وضعها مرة أخرى مع

بعضها البعض. ولكن في الغالب، فإن هذه الأنظمة الفرعية تخلق مشاكل غير ضرورية، تعرف بنتائج الصناعية اليدوية(artifacts: ، وهي لاتظهر إذا تم التعامل مع النظام منذ البداية بشكل كلي ومتكامل. ويعد الإبصار الحاسوبي (computer vision: مجال مثالا جيدا على هذا المبدأ، حيث يبدو واضحاً منذ البداية أن مجال الرؤية الحاسوبية يمكن أن يُفهم كعملية منفصلة عن بقية سلوكيات الكائن. ولقد ركز الإبصار الحاسوبي تقريباً على تحليل الصور الفوتوغرافية الثابتة مثل الطاولات الممتلئة بالأجسام بشكل حصري. وقد طُورت لوغاريتمات متقدمة جداً ومركزة بشكل حاسوبي من أجل" فهم " الصور بواسطة تعريف وتحديد وتصنيف الأجسام التى تم إتقاطها في الصورة. ومع ذلك يصبح الإبصار الحاسوبي أكثر سهولة عندما يتفاعل الكائن مع البيئة. وبمعنى آخر، لابد أن نتعامل مع الإبصار الحاسوبي كعملية تفاعلية وليس فقط كمجموعة من العمليات التي تؤدى على مجموعة من الصور الثابتة. فإذا حركت رأسك إلى الأمام والخلف، فالأجسام التي تتحرك بسرعة أكثر في مجالك البصري تكون أقرب لك من الأجسام التي تتحرك بسرعة أقل؛ وإذا حجب أحد الأجسام رؤيتك عن الجسم الآخر فإنك تستطيع السير إلى

موقع آخر والنظر بسهولة من زاوية أخرى. إن امتلاك جسد للتحرك به في العالم الحقيقي الواقعي سوف يسهل الرؤية – ومهامعديدة أخرى، كما سنشاهد ذلك. يساعدنا هذا التصور أثناء بناء الكائنات الروبوتية، ولكن أيضاً مفيد عند محاولة فهم الكائنات الأخرى كأنفسنا.

ولنستعرض مثالا آخر مستوحى من مجال البحث العلمي متعلق بالإدراك الحسي، حيث يسعى الباحثون في العلوم الإدراكية وعلم النفس وعلم الخلايا العصبية الدماغية إلى استنتاج الكيفية التي يستطيع بها الأفراد تفسير التحفيز الحسي في الحياة الحقيقية. وفي العديد من التجارب التى أجريت أثبتت النتائج أن وظيفة جزء معين من الدماغ تختلف بشكل كبير إذا تمت على سلوك الكائن – وعادة مايكون الحيوان – في العالم الحقيقي الواقعي، أو على سلوك نظام فرعي معين درس بشكل منفصل مثل نظام الإبصار. وقد أدى ذلك في نهاية المطاف إلى جائزة نوبل لعام 1981، حيث قام عالمي الخلايا العصبية الدماغية ديفيد هبل (David Hubel) وتورستن ويزل (Torsten Wiesel) بتجربة شهيرة في الخمسينات، حيث أدخلوا قطب كهرباء دقيق داخل خلايا فردية في اللحاء البصري لقطة مخدرة. وبعد ذلك عرضوا الحيوان غيرالمتوازن الذي تعرض لأنواع

مختلفة من المؤثرات المرئية بينما تم تسجل الإشارات من تلك الخلايا الفردية. ولقد كانت إحدى نتائجهم المدهشة بأن بعض الخلايا لا تستجيب لشدة الضوء ولكن بالأحرى تستجيب إلى الإتجاه نحو الحدود أو الحواف. وبمعنى أخر، فإن بعض هذه الخلايا تستجيب فقط في حالة وجود ضوء في الجانب الأيسر من المشهد الذي يمكن رؤيته بينما يكون الجانب الأيمن مظلما (والعكس صحيح)، بينما البعض الآخر يستجيب فقط في حالة وجود الضوء في الإتجاه العلوي أو السفلي، وهكذا. ويبدو طبيعيا أن نستنتج من هذا بأن بعض الخلايا العصبية في اللحاء البصري لدى القطط تعمل كأداة إكتشاف للحواف. لاحقاً، عندما تصبح التجارب على القطط المتحركة ممكنة تقنياً، سيُكتشف أن تلك الخلايا كانت أيضاً في الحقيقة تشتمل العديد من النشاطات الأخرى هيني وآخرون (Haenny et al., 1988). ورغم انه يمكن الجزم بأن هناك علاقة إرتباط إحصائية بين النشاط الذي يطلق عليه: edge - detection (خلايا اكتشاف - الحواف cells) وبين تمثيل المحفزات البصرية المحتوية على الحواف، إلا أنه لايمكن القول بأنها وحدات أو مُرَكِّبات تكون أداة لإكتشاف الحواف، وذلك لكونها تضم سلوكيات أخرى مختلفة. ونحن لا ننتقد التجارب الرائدة لهبل

ولكننا نشير فقط إلى (Hubel and Wiesel) وويزل أن هذه الخلايا العصبية لا يمكن اعتبارها وحدات أو مُرَكِّبات أساسية يمكن من خلال تجميعها سويا تركيب النظام الكامل. فالنتائج تم تحقيقها: ولكن بحاجة فقط إلى اعادة تفسير.

في الغالب، يبدو أن تمحيص جزء فقط من الكائن لإيضاح سلوكه يجعلنا نسند له "قدرة عقلية: brainpower" أكثر مما قد تكون لديه في الحقيقة. وبمعنى آخر، إن التفكر في الكائن بأكمله يمكننا في الغالب من إيجاد آليات أخرى أبسط لإنجاز السلوك. وهكذا فإن مبدأ الكائن المكتملذو علاقة (بمبدأ التصميم الزهيد أو الرخيص: principle of cheap design) الذي سوف نناقشه لاحقاً: فبإعطاء الجسد المناسب للوظيفة المطلوبة، ومع الإهتمام بسلوك وبيئة الكائن، يمكن للكائنات أن تعمل بأجهزة حاسوبية أقل. هل تذكر سلوك نملة الصحراء؟ لقد أظهرت العديد من التجارب أن النملة تستطيع استخدام معالم لإيجاد الموقع الصحيح لمسكنها عند عودتها من رحلة البحث عن المؤن. في تلك التجارب كانت المعالم عبارة عن اسطوانات سوداء ضخمة توضع حول المسكن. وحتى تكون المعالم مفيدة، على النملة أن تتعرف عليها أولاً ثم

تتخذ القرار في أي اتجاه تتحرك؛ على الأقل هذا ما نعتقد حدوثه. إن مهمة التعرف على المعالم صعبة وتتطلب نظاما إدراكيا احتماليا يستلزم الكثير من العمليات الحاسوبية، كما أوضحنا في مثال ابصار الحاسوب. ومع ذلك وكما أوضحنا في الفصل الثاني، أن النمل يأخذ نوع من اللقطة الفوتوغرافية لمحيطه البيئي عند مغادرته للمسكن، وببساطة فإنه يقارن اللقطة الفوتوغرافية المخزنة مع اللقطه الحالية بما يرى – الإستشعار الحسي الحالي – ويتحرك في الاتجاه الذي يقلل إلى حد كبير الاختلافات بين اللقطتين. وعندما تتطابق الصورتين تماماً تكون النملة في موقع مسكنها بالتحديد. وفي هذه المرحلة، نستطيع القول بأن النملة يمكنها أن تميز النملة على " recognition :المعالم، ولكن " تَعَرُّف المعالم يكون عادة متداخلا تماماً مع سلوكها، ولا نستطيع مثلا فصل مهمة " ايجاد المسكن finding the nest " :عن مهمة "تمييز المعالم recognizing the landmarks ". وهذا يقتضي من ناحية، عدم وجود وحدتان منفصلتان لتنفيذ هذين المهمتين، ومن ناحية أخرى فإنه إذا تأملنا سلوك الكائن المكتمل، بدلا من الإهتمام فقط بالمهمة الإدراكية الثانوية التى يؤديها، فإنه يمكننا التحقق من أن الحل الناتج يكون أسوءا أو أردءا

بكثير من منظور تصميم الكائن (لتفاصيل أكثر انظر لامبرينوس وآخرون: for more details see Lambrinos et al., 2000)

بالإضافة إلى ذلك، عند مراقبة سلوك الكائنات المكتملة في العالم الحقيقي الواقعي، نكون أقل عرضة لتغيير أنظمتنا على نحو غير ملائم: حيث في المثال السابق، يمكننا عرض وحدتين غير صحيحتين لشرح سلوك النمل: "إيجاد المسكن" و"تمييز المعالم ". ويدرس علم النفس النظام المعروف بأنه الأكثر تعقيداً في الكون ألا وهو "الإنسان". وحتى نحيط بمدى تعقيد النظام الإنساني البشري، يقوم الباحثون في هذا الحقل بتقسيم جوانب النفس البشرية الى فئات واجزاء مختلفة بغرض دراستها، نذكر على سبيل المثال، البعض فقط: المعرفة والإدراك والتصنيف والذاكرة والانتباه والتفاعل الاجتماعي والاستنباط وحل المشاكل والتخطيط والإبداع والاتصال واللغة والوعي والشعور. وقد خُصصت المجالات المنفصلة في علم النفس لدراسة عدد من هذه المجالات. ولكن اذا نظرنا الى الكائن المكتمل وتساءلنا ماهي العمليات التي تشكل الأساس لسلوكياته المختلفة مثل السير أو الكلام أو التعرف على وجه ما في الازدحام، فإنه يتضح لنا على الفور بأن هذه المجالات الفرعية

:للسلوكيات المختلفة لا تمثل فعلا "الوحدات الواقعية ولكنها فقط تعطينا منظورات " modules متعددة (أو على الأقل متراكبة فوق بعضها البعض) لذات المجموعة من العمليات. فعلى سبيل المثال، فإن التعلم لا يعني شيئا دون إدراك، كما أن الذاكرة لاتعني شيئا بدون التعلم. والتخطيط يمكن القيام به فقط بالإعتماد على أساسيات الإدراك والذاكرة وغيره.

بالإضافة إلى ذلك، عند دراستنا للكائنات المكتملة، يجب علينا أن نتعامل مع محرك الاستشعار الكامل الدوران، فإذا اتبعنا هذا المبدأ فلن نقع أبدا في فصل بعض المظاهر –مثل التخطيط للحركة –من منظور النظـــام الإستشعاري، والمعمول به في صناعة الروبوتات الكلاسيكية. في عام 1999، دعيت أنا (رولف) كضيف إلى مختبر أبحاث لشركة كبيرة منتجة للسيارات في ألمانيا، ولأول مرة في حياتي قدم لي روبوت كوباً من القهوة. لقد كانت تجربة فريدة: تفحص الروبوت الطاولة أمامي فوجدها خالية، فأمسك بكوب وأتجه نحو جهاز تحضير القهوة، وضع الكوب في مكانه المخصص، ثم ضغط على زر التشغيل وانتظر الكوب حتى يمتليء، ثم اتجه نحو المكان الذي كنت أجلس فيه، وقدم لي كوب القهوة. ولقد أعجبني ذلك. ولكن في حقيقة الأمر

لم يكن بتلك الانسيابية: إن تخطيط الحركة في مسار محدد تم تطويره بشكل منفصل كليا عن بقية الكائن، مما أدى إلى ظهور بعض المشاكل. فعلى سبيل المثال، عندما أدى الروبوت التخطيط الحركي، في زمن ما (إنني متأكدا من أن هذا قد تغير) فإن الروبوت لم يكن يتلقي معلومات حسية من البيئة. ونتيجة لذلك، فقد أمسك الروبوت بكوب القهوة بطريقة مختلفة عما يجب أن يكون عليه الأمر مما أدى إلى انثناء الكوب وكاد يكسر الأنبوب الذي تخرج منه القهوة من الجهاز. ففي طريقة الكائن المكتمل، نجبر دائماً على الاهتمام بمحرك الاستشعار الكامل الدوران: لو أدرك الروبوت كيفية إمساك الكوب بطريقة صحيحة ووضعه في جهاز تحضير القهوة، لكان من الممكن تجنب المشكلة. وهذا أيضا يفسر لنا (مبدأ التناسق الحسي - الحركي: sensory - motor coordination) الذي سنتناوله لاحقاً.

خلاصة لذلك، فإن مبدأ الكائن المكتمل مهم جدا في مضامين كيفية دراسة الكائنات سواء من ناحية علم الخلايا العصبية الدماغية وعلم النفس، أو من ناحية كيفية تصميمها وبنائها، كما في الروبوتات. وهذ المبدأ أيضا يؤكد أنه في حالة الكائن المكتمل، كل شيء يكون وثيق الاتصال.

4.5 المبدأ الثالث لتصميم الكائن :التصميم الزهيد (Cheap Design)

إن مبدأ التصميم الزهيد ينص على أنه إذا كانت الكائنات قد بنيت لاستغلال الخصائص المتاحة في بيئة محيطة مخصصة ومن أجل إستخدام الصفات للتفاعل مع البيئة، فإن تصميم الكائنات وتركيبها سوف يكون أسهل وأرخص وأزهد.

لنعود إلى نقاشنا حول مانعنية من تعريفنا للذكاء ولو لوهلة. فقد اقترحنا أن مفهوم الذكاء مرتبط بالإستجابة والاختلاف. و إن الكائن الذي يستجيب للمؤثرات والذي يستغل الظروف البيئية المحيطة المخصصة ليتمكن من توليد سلوكيات متنوعة و مختلفة يعتبر كائنا ذكياً بالفطرة. فلابد إذا أن نستجيب للمعطيات: ولا يمكن أبدا أن نتجاهل وجود جاذبية على الأرض، أو بصورة أدق، اذا نحن تجاهلنا وجود الجاذبية فلن يكون ذللك مجديا للكائن الحي. فعلى سبيل المثال إذا وقفت على حافة سطح غير مخصصة للسير وسرت عليها فإني بالطبع سأسقط شئت ذلك أم أبيت، ولكن ذلك ليس شيئأ سلبيا: فقوانين الفيزياء يمكن تطويعها لمصلحتنا بطرق ذكية أيضا. ومن المهم أن نفرق بين خاصيتين لاستغلال البيئة المخصصة: خصائص هذه البيئة والتي تتضمن: القوانين الفيزيائية،

الجاذبية الأرضية، الاحتكاك، القوى الكهرومغناطيسية؛ وخصائص التفاعل مع البيئة والتي تتضمن: المحفزات الإستشعارية المتولدة عندما يتحرك الكائن. وكما أسلفنا سابقا، فإن مبدأ التصميم الزهيد ينص ببساطة أنه إذا بني الكائن ليستغل هذه الخصائص فان تصميمه وبنائه سيكونان أسهل بكثير. وهكذا فإن التصميم الزهيد هو بمعنى الإستغلال وعلينا ألا نأخذ كلمة زهيد أو رخيص بمعناها الحرفي. وفي كل الأحوال فقد وجدنا أنه اذا طبقت مبادىء التصميم بصورة صحيحة فإن الكائنات الناتجة ستكون غير مكلفة وزهيدة بمعنى الكلمة: فإذا كانت بسيطة، فلن يكلف الكثير تصميمها، تصنيعها، وصيانتها. ويساعدنا مبدأ تصميم (التوازن البيئي ecological balance) والمتعلق بمبدأ التصميم الزهيد إكتشاف الكيفية التى يتم بها الإستغلال؛ إن مبدأ التصميم الزهيد ببساطة يوضح أنه كلما ازداد وتحسن الاستغلال، كلما ازدادت بساطة الكائن.

والآن سوف نشرح هذه النقاط من خلال تقديم بعض الأمثلة التوضيحية: الروبوتات السويسرية التى ذكرناها سابقا، "الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي passive dynamic walker: "، الروبوت الذي والذي يعمل بدون محرك، "brainless :" بدون عقل

وبمقدرته تخطي المنحدرات بدون تحكم، والروبوت الذي والذي لديه "Denise :تلاه المعروف بإسم "دينيس قليل من العقل وبمقدرته أتخاذ بعض التحركات وردودا الأفعال؛ وأخيرا سنتعرف على الطريقة التى تُناسق وتوازن بها الحشرات سيقانها عند السير بالرغم من عدم وجود مركز في دماغها للتحكم في إدارة وتزامن حركة السير الفعلية. وسنتناول شرح هذه الأمثلة في سياق حديثنا عن مبدأ التصميم الزهيد، ولكن دون أن نتذكر دائما بأن جميع مبادئ التصميم تنطبق على جميع الكائنات بمفهومها المحدود أو مفهومها الشامل.

:الروبوتات السويسرية

لنتذكر سويا دراسة الحالة التى تمت على الروبوتات السويسرية والذي سبق وأن ناقشناها في الفصل السابق حيث كانت المهمة تصميم روبوتات بمقدرتها ترتيب تكتلات لمكعبات الستايرفوم في مساحة محددة. (وعلينا الإعتراف بأن هذه ليست مهمة ساحرة، ولكنها بالتأكيد إحدى الأسباب التي من أجلها نريد الروبوتات!) ومن البديهي أن نعتقد أن يتم إتخاذ الخطوات التالية. أولا، على الروبوت أن يجد مكعبا. وبمجرد أن يجده عليه أن يبحث عن أقرب تكتل أو إرتفاع. عندئذ عليه أن يتحرك ومن ثم سيضعه في المكان المناسب، وهكذا يتم تكرار

الإجراء حتى تصبح جميع المكعبات ضمن تكتلات تم تشكيلها. ومما لا شك فيه أن هذه المهام تتطلب تخطيطا وعمليات حاسوبية معقدة ومكلفة لرؤية الروبوت. ويجب أن لا نسى أن الإدراك البصري عملية طبيعية لدينا نحن البشر وتبدو أنها تتم بدون مجهود منا ولكن هذا لا يعني أنها عملية بسيطة.

وتأخذ الروبوتات السويسرية طريقة أخرى: فهم يسيطرون على العمل من خلال استغلالهم لتركيبتهم وأشكالهم الجسدية البنيوية ومن خلال إستغلالهم لخصائص البيئة المحيطة المخصصة. ومن الجدير ذكره أن هذه الروبوتات قد تمت برمجتها فقط بردود فعل بسيطة لتجنب العوائق. وحتى يتم تكوين التكتلات، لابد من إستغلال منظورات متعددة للبيئة المحيطة المخصصة: حجم المكعبات (إذا كانت كبيرة جداً أو صغيرة فإن المهمة لايمكن أن تتم)، وزن المكعبات (إذا كانت ثقيلة جدا لايمكن دفعها أو صغيرة لايمكن رؤيتها، فإن المهمة لايمكن أن تتم)، حقيقة أن البيئة المحيطة مغلقة ومحاطة بحواجز أو جدران(ففي أوضاع مخالفة لذلك فإن الروبوتات قد تبتعد عن محيطها بدلا من إجراء عملية التنظيف)، حقيقة أن الأرض لابد وأن تكون مسطحة ومادتها مساعدة للإطارات والعجلات عند حدوث الإحتكاك

ليسهل دفعها (إذا وضعت صابونا على الأرض فإن المهمة لايمكن أن تتم). فإذا لم تكن أي من هذه الشروط والقيود متوفرة، فإن الروبوتات السويسرية حتماً سوف تفشل في أداء مهمتها وإنجاز العمل المطلوب منها. ولكن إذا استوفت جميع هذه الشروط أو القيود، فإن المهمة سيتم إنجازها، وستكون التكلفة زهيدة: فالروبوتات السويسرية تستغل خصائص بيئتها المحيطة المخصصة، والقوانين الفيزيائية، وتركيبة وشكل جسدها البنيوي بطريقة ذكية، بحيث تصبح الحاجة إلى العمليات الحاسوبية المعقدة والمكلفة جدا لنظام إبصار الروبوتات غير مطلوبة. إن تصميم الروبوتات السويسرية ليست بحاجة لمعرفة وإن إدراك ما تقوم به من عمل: ينحصر فقط في إستجابتها للمحفزات الاستشعارية.

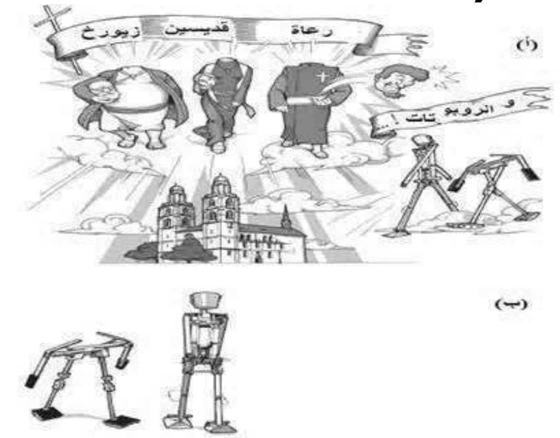
الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي و "دينيس Denise":

إن الروبوت ذو السير الديناميكي السلبيالموضح في الشكل 4.3 ب، هو عبارة عن نوع من انواع الروبوتات (أو بدقة أكثر عبارة عن جهاز ميكانيكي، حيث لايوجد لديه إستشعارات أو محركات أو برنامج تحكم) وقد تم عرضه لأول مرة عام (1990) بواسطة ماكجير (McGeer). إن لديه القدرة على تخطي المنحدرات

دون إي إستشعارات، أومحركات لردود الفعل، أونظام تحكم: بمعنى آخر، وحرفيا إنه بدون عقل، إذا أعجبك هذا التعبير. ولذلك لا يمكن لنا اعتباره كائنا. وعلى الرغم من ذلك، لكي يتم تحقيق مهمة السير، فإن ديناميكية هذا الروبوت – والكيفية التى تؤثر بها الجاذبية، والاحتكاك، والقوة الناتجة من تأرجح الاذرع والأرجل عند التحرك – لابد وأن يتم إستغلالها. وإذا ما تم استغلال ذلك فإن سلوك السير يكون فعالا وبصورة طبيعية قد تثير الدهشة.

على كل حال فإن البيئة المحيطة المخصصة لهذا الروبوت بمعنى أن البيئة التى تمكن الروبوت من العمل فيها محدودةً جداً: أنها مكونة من منحدرات بزاوية انحدار معينة. وتماما كما هو الحال في الروبوتات السويسرية، فإن أي تغيير قد يحدث في ظروف البيئة المحيطة المخصصة مثل تغير زاوية الانحدار، أو تغير خصائص السطح (مثل وضع سجادة ناعمة على السطح)، فإن الآلة لن تتمكن من العمل. وحقيقة أن الكائن قد يتوقف عن العمل بسبب تغير أحد الظروف في البيئة المحيطة المخصصة (وخاصة تلك التي يجب استغلالها من قبل الكائن) أمر واقع ولايمكن تفاديه وهي موازنة صعبة في مبدأ التصميم الزهيد. وقد تم تحقيق الكفاءة في إستخدام الطاقة لأن حركة الأرجل كانت سلبية كلياً، فهي

تتحرك بفعل الجاذبية بطريقة مشابهة لحركة تذبذب البندول. ولتحقيق هذا، بذل المصممون الكثير من الجهد والإهتمام بتركيبة وأشكال الكائنات الجسدية البنيوية والمواد الخام المصنعة منها. فمثلا الروبوت الذي لديه أقدام عريضة بشكل معين، وكعوب مطاطية، وأذرع متأرجحة بشكل متعاكس صمم بهذه الطريقة ليساعده تكوينه الجسدي على الحركة بطريقة معينة (كولين وآخرون، Collins et al., 2001).



شكل 4.3

الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي. (أ) نموذج لقديسي زيورخ في سويسرا: فليكس (Felix)، ريغولا (Regula) اكسبيرانتوس (Exuperantius). تظهر الصورة القديسين بلا رؤوس في القرن الثالث نتيجة لمعتقداتهم الدينية. تقول الأسطورة انهم حملوا رؤوسهم على أيديهم إلى موقع عرف فيما بعد بكنيسة غزوسمينسر (Grossmünster) وهي رمز لمدينة زيورخ التى بنيت. اسطورة؟ لا وجود للروبوت ذو السير الديناميكي السلبي. (ب) الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي التقليدي يسير على منحدر (Steve Collins) المصنوع بواسطة ستيف كولينز بدون محركات تشغيل (يسار) و إلى جانبه الروبوت ذو القدمين ثلاثي الأبعاد

دينيس المصنوع من طرف مارتن ويس (يمين)، دينيس عبارة عن روبوت هجين ديناميكي سلبي: إن مفاصل كاحل وركبتي دينيس تتأرجحان سلبياً، بينما يقوم المحرك بقيادة وتوجيه الأوراك لحث السير على أرض مستوية.

وبدون تقيد يمكننا القول، بأن العملية التى تقوم بها الخلايا العصبية والتي عادةً ما تكون ضرورية للسيطرة على حركة السير، قد قام مقامها التركيب والشكل الجسدي المناسب والمواد التى دخلت في تكوين وتشكيل الجسد. وهذه حالة أخرى توضح أهمية (التركيب البنيوي الحاسوبي: morphological computation). وفي الحقيقة فان سيطرة الخلايا العصبية في هذا الروبوت قد تقلصت إلى الصفر. ولكن إذا تم تغير شيء كزاوية الانحدار، مثلاً، فإن الكائن يكف عن العمل– وهذا ثمن التصميم الزهيد.

ولأن الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي يستغل كل خصائص بيئته المحيطة المخصصة له، فهو يعتمد بشكل كلي على هذه البيئة، وقد لايعمل في غيرها. ولكن البيئة المحيطة المخصصة يمكن تغييرها وتوسيع نطاقها إذا أضفنا قدرات وإمكانيات جديدة الكائن: بإضافة ومحركات، وبعض أنماط التحكم، وتعديل التركيب والشكل الجسدي البنيوي للروبوت ذو السير الديناميكي السلبي سنمكن الروبوت من السير على أرض مسطحة. ولقد تمكن من إنجاز ذلك الفريق الذي يقوده مارتيجين وايز (Martijn

وهو المهندس الشاب المبدع بجامعة التقنية ،(Wisse
بهولندا (Technical University of Delft)
والذي كان أيضا ضمن فريق تطوير الروبوت ذو السير
الديناميكي السلبي في جامعة كورنل (Cornell
University). استطاع وايز مؤخرا من صنع "دينس"
(شكل4.3 ب) وهوتقريبا روبوت ذو سير ديناميكي سلبي
كلياً، ولقد تم إضافة مشغلات وموتورين أو محركين
كهربائيين في النموذج الذي سبق هذا النموذج لتحريك
الأرجل. وبذلك فإن سلوك المشي (أو إذا جاز لنا القول
سلوكها في السير) بدا طبيعياً، غالبا بسبب استغلال حركة
الأرجحة السلبية لدفع للأرجل إلى الأمام.

يمكننا أن نقول أن مبدأ التصميم الزهيد يعمل فقط على
الأنظمة البسيطة جدا، ونعترف بأن جميع الأمثلة التى
قدمناها بسيطة جدا. ولكن لنتأمل سير الإنسان للحظات
وطريقة أرجحة السيقان للأمام ـــ تشبه حركة الروبوت
دينيس ـــ سلبية كلياً. إن حركة العضلات سلبية لذلك
تتأرجح الأرجل للأمام كالبندول وذلك بسبب الثقل، ولذلك
يتم إستغلال الجاذبية. حقا، إن تصميم أرجلنا معقد لما
تحتويه من عظام، مفاصل، أوتار، وأربطة، وعضلات،
وخلايا عصبية، وجلد، ولكن هذا التعقيد في التصميم لا
يعوق الاستغلال. ويمكننا القول بأننا نحن البشر كائنات

معقدة جدا في تركيبها، ولنا تصميم بنيوي "زهيد". ومن المؤكد أن يكون ممتعا وسنرى إذا كانت محاولة وايز وطريقته في الروبوت الذي يسير ستؤدي الى إنتاج أنظمة أكثر تعقيداً، وخاصة الروبوتات شبه البشرية، أم سيكون علينا استخدام طرق أخرى بديلة.

ورغم أن الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي هو نظام اصطناعي (ويعتبربسيط جدا)، الا أن له إحساس طبيعي. إن استخدامنا لمصطلح "طبيعي" لا تنطبق على الأنظمة الحيوية البيولوجية فقط ولكن ايضاً على الأنظمة الاصطناعية: وربما أن الإحساس الطبيعي يأتي من الاستغلال الديناميكي، ارجحة الأرجل السالبه (للمزيد من المعلومات في هذا الموضوع انظر (فايفروغلاتزدر: Pfeifer and Glatzeder, 2004).

تناسق حركة الأرجل عند الحشرة: Leg Coordination in Insect Walking))

لقد تم اختيار المثالين الأولين من مجال علم الروبوتات، والآن سنذكر مثالاً من مجال علم الأحياء: تناسق حركة الأرجل أثناء السير عند الحشرة. ومن المعروف منذ زمن بعيد أن حركة الأرجل عند الحشرات يتم التحكم بها من خلال مراكز تحكم مستقلة (فون هولست: von Holst, 1943). وبمعنى آخر، يبدو أنه

لايوجد مركز تحكم في الدماغ لتنسيق حركة الأرجل عند المشى. وإذا كان هذا صحيحاً وحقا، كيف يمكن للحشرات أن تسير أصلاً؟ وكيف تنتج حركة تناسق الأرجل؟ ولابد لحركة الأرجل من التناسق أثناء المشى، وإلا فلن يكون السير ممكنا. منذ عدة سنوات ماضية قام المفكر الراديكالي ومؤسس التوجه البيولوجي الألماني هولك كروز (Holk Cruse)، والذي درس سير الحشرات لعدة سنوات، بحل اللغز. وقد كانت النتيجة أن حيلة هذه الحشرات تستغل تفاعلها مع البيئة. فلنفترض أن حشرة ما تقف على الأرض وحتى تتحرك للأمام، فإنها لابد أن تستخدم أحد أرجلها وتدفع بها للخلف. ونتيجة لذلك فإن جميع زوايا المفصل للأرجل المثبتة على الأرض تتغير فوراً. ويدفع جسم الحشرة للأمام، وبالتالي فإن ارجلها الأخرى أيضاً تُسحب للأمام وبذلك تنحني المفاصل أوتتمدد. وتعتبر هذه واحدة من الإرتدادات التي لا يمكن تجنبها في حالة الكائن المجسد، وتعجز الحشرات عمل أي شيء حيال ذلك. على كل حال، فإن هذه هي نتيجة بحث كروز، وهذه الحقيقة يمكن إستغلالها لصالح الحشرة أو الحيوان بصفة عامة. وإن كل ما نحتاج إليه هو زاوية إستشعار في المفاصل —— وهي موجودة —— لقياس التغير أثناء الحركة، وهناك أيضاً نوع من

الإتصالات الشاملة التى تتم بين الأرجل! ولكن هذه الإتصالات تتم من خلال التفاعل مع البيئة وليس من خلال ترابط الخلايا العصبية الدماغية.

لذلك فإن الخلايا العصبية الدماغية المسؤلة عن التحكم في الأرجل فقط تحتاج إلى استغلال هذه الإتصالات الشاملة الموجودة بينها. وهناك أيضاً فائدة أخرى لجميع ذلك. وهي أن الحشرة إذا تحركت للأمام، فإن جميع زوايا الأرجل الأخرى تتحرك نحو اليمين بحرية — من دون أي عمليات حاسوبية وبإستغلال المعلومات المتوفرة— وهذا مفيد للغاية ويمكن استغلاله مباشر للتحكم في حركة كل رجل على حدة. وإن هذا ليس بالأمر البسيط، ولكن حيث عمل مع عدد من (Cruse) اكتشاف العالم كروز زملائه بتصميم شبكة عصبية لمحاكاة هذا العمل (دور وزملاؤه:: Dürr et al., 2003). وسميت هذه الشبكة "شبكة السير": "WalkNet" وتستطيع التحكم في روبوت ذي ستة أرجل.

وهذا مثال آخر على مبدأ التصميم الزهيد: فإذا استطاعت الحشرة أن تفعل كل شيء بعد إجراء العمليات الحاسوبية، سيكون ذلك أكثر تكلفة وأبطءا في السرعة. وهذا أيضا مثال على (التركيب البنيوي الحاسوبي: morphological computation): فجزء من

المهمة التي يجب أن يقوم بها الدماغ — هي الإتصالات بين الأرجل وحساب زاوية جميع المفاصل — ويتم ذلك من خلال التفاعل مع العالم الحقيقي.

إن مبدأ التصميم الزهيد عام جداً لأنه فقط ينص على أن البيئة المحيطة المخصصة يمكن أن تستغل لتبسيط تصميم الكائن، ولكن هذا المبدأ لا يشرح لنا كيفية تحقيق هذا الاستغلال بصورة صحيحة أو ما هي الديناميكيات التي يجب استغلالها. أما مبادئ التصميم الأخرى مثل التوازن البيئي، و(التكرار التبادلي :redundancy)، والتناسق الحسي - الحركي فهي محددة أكثر وتتعلق بالكيفية. ولكن التصميم الزهيد يمكن تطبيقه على قضايا محدودة أكثر، مثل تصميم نظام الإبصار — وهو مجال أصبح معروفا بإسم "الرؤية الزهيدة: cheap vision ". وجميع الأبحاث المنشورة عن الإبصار والأمثلة كثيرة التي تناقش كيفية استغلال البيئة المحيطة المخصصة والتفاعل المحدد مع البيئة. وهناك مثال مسلي وتوضيحي يستحق التنويه به ذلك الروبوت المعروف بإسم "آي بوت: Eyebot " والذي سنتحدث عنه في هذا الفصل لاحقاً.

وحتى نختم حديثنا عن مبدأ التصميم الزهيد لنذكر باختصار بعض الأمثلة التي لا تتوافق مع هذا المبدأ،

وذلك حتى تتضح لنا الصورة كاملة. إن الحاسب المحمول والذي سبق وأن ذكرناه لا يقوم باستغلال البيئة المحيطة بطريقة جيدة، وكذلك الروبوت شبه البشري والذي تتطلب حركة سيره "برمجة داخل :programmed into" الروبوت. ومن أمثلة أسيمو، كوريو، اتش آر بي من الروبوتات شبه البشرية وجميعها لابد من برمجتها بصورة جادة، وحتى الآن لاتتوفر بها نظم لاستغلال البيئة بشكل جوهري ونظم للتفاعل البيئي.

4.6 المبدأ الرابع لتصميم الكائن : (التكرار التبادلي: Redundancy)

ينص مبدأ التكرار التبادلي على أن تصميم الكائنات الذكية يجب أن يتم على النحو التالي: (أ) أن وظائف النظم الفرعية المختلفة تعتمد على اختلاف العمليات الفيزيائية الطبيعية التي تقوم بها الكائنات.(ب) أن هناك تداخل جزئي في الوظائف بين الأنظمة الفرعية المختلفة.

إن مبدأ التكرار التبادلي يهدف الى تصميم أنظمة تستطيع التعامل مع الأخطاء بسرعة الزمن الحقيقي قادرة على العمل حتى مع تغيير جوهري في محيط البيئة. لمصطلح " التكرار التبادلي " تاريخ طويل وقد استخدم بطرق مختلفة، لذا، ومرة أخرى، بدلاً من محاولة تقديم

تعريف دقيق لهذا المصطلح سنحاول تفسيره مستخدمين عدد من الأمثلة.

والإبصار لدى Haptic) أنظمة (الإحساس باللمس الإنسان:

غالباً ما يستخدم مصطلح (طرق الإتصال modality) للدلالة على العديد من القنوات الحسية المختلفة: وتشمل طرق الإتصال البصرية، اللمسية من بعد، والسمعية. ويوفر لنا نظام الإبصار، أو طريقة الإتصال البصري معلومات مكانية دقيقة تمكننا من التحرك بسرعة لأننا بذلك نستطيع أن نرى إلى أين يمكننا أن نذهب وأين توجد العقبات والأجسام المرغوب بها. وحيث أن هذه المعلومات قيمة جداً، وأن معظم المخلوقات تطورت، بطريقة أو بأخرى لديها نظام إبصار. ولكن ماذا إذا حل الظلام فجأة؟ واحسرتاه، فالرؤية تحدث فقط مع وجود الضوء. ولحسن الحظ لايفقد كل شيء: فمن الممكن الاعتماد على طرق الإتصال الحسية الأخرى مثل السمع واللمس. وعلى الرغم من أننا نستطيع الحصول على معلومات مكانية من النظام السمعي — ولكننا بصعوبة يمكننا الحصول على منبع الصوت — وبالمقارنة ستكون النتيجة أقل دقة بالاعتماد على النظام البصري. ولكن من خلال حاسة اللمس — وأيضا يطلق

عليه النظام اللمسي ـــ يمكننا الحصول على معلومات مكانية دقيقة جدا: فنستطيع نسبيا التعرف بسهولة على الأجسام بالإعتماد على الأيدي والأصابع. والأكثر من ذلك، أننا غالباً ما نعتبر حاسة اللمس كمصدر موثوق به أكثر مما نراقبه بأعيننا: وفي بعض الأحيان يجب أن نلمس الأشياء ونتحسسها لأننا لا نثق كليا بما نراه من ظواهر الأمور. ومن الطريف أن نذكر أن أحد مؤلفي هذا الكتاب جوش ((Josh) قد تعلم الدرس بطريقة صعبة نوعاً ما: فهو ينصح بأنك إذا كنت ضيفاً في أحد الحفلات فمن الأفضل أن تمد ذراعك عند العبور من داخل المنزل إلى الحديقة الخارجية لتتجنب الوقوع في خطأ فادح وهو الارتطام بالزجاج العازل الفاصل بين المنزل والحديقة حتى لا تصبح محطا لأنظار باقي الضيوف في الإحتفال.

بينما تعتبر حاسة اللمس مجدية في المسافات القصيرة الا أنها غير كافية في المسافات البعيدة. وعند التجوال، يمكن استخدام حاسة اللمس إذا كنا نسير ببطء وذلك لأن النظام اللمسي يتطلب اتصالا جسمانيا على خلاف نظام الإبصار. وجميع ذلك يعتبر إدراكا وفطنة سليمة، ولكن بالطبع، فإن النقطة الجوهرية هو أنه حتى لو اضطررنا للبطء أو التوقف فجأة، فإن وظائف أجسادنا لا تزال تعمل، لأننا نعتمد على مجموعة مختلفة من الإستشعارات

الحسية المناسبة للوضع وفي هذه الحالة هي عملية التوقف. والسبب في ذلك فإن النظامين يعتمدان على عمليات فيزيائية طبيعية مختلفة: إن نظام الإبصار يعتمد على المحاكاة من خلال الموجات الكهرومغناطيسية، أما نظام اللمس فإنه يعتمد على الضغط الميكانيكي. ومع ذلك فإن طريقتي الإتصال توفر معلومات متداخلة جزئياً: أي أن المعلومات المستنبطة من أحد النظامين يمكن أن تستغل — على الأقل جزئياً — للتنبؤ عن المعلومات التي يمكن أن تستنبط من النظام الآخر. فإذا رأيت مشروبا على الطاولة وتم تكثيف قطرات الماء على سطحه الخارجي، فإنك حتماً ستعرف الإحساس الذي يمكن أن تشعر به إذا لمست الكأس. إن المعلومات المحتواة في القنوات الحسية مجتمعة يرمز لها بالمعلومات المتبادلة وهي تلعب دوراً مهماً في بناء العديد من المفاهيم: إن مفهوم الكأس الذي به مشروب، يشمل ليس فقط المعلومات المستنبطة من نظام الإبصار، ولكن معلومات من نظامي اللمس والتذوق أيضاً.

معنى التكرار التبادلي: (The Meaning of Redundancy)

بما أن المعلومات المستنبطة من نظام إستشعاري معين تتضمن بعض المعلومات أخرى يمكن إستنباطها من

نظام آخر، فإن هذه الظاهرة تعرف باسم (التكرار التبادلي: redundancy.).

إن مصطلح " التكرار التبادلي " خادع بالفعل لأنه يعتمد كثيراً على وجهة النظر التي نتبناها، كما أن له " العديد من التفسيرات المختلفة. إن المصطلح الأجنبي redundancy " يؤخذ في بعض الأحيان بمعنى تكرار العناصر، أوبمعنى الجزء من الرسالة الذي يمكن حذفه دون المساس بالمعلومات الأساسية، مثلا.

وتعتبر اللغة الطبيعية مثالا جيدا لتفسير المعنى الأخير للمصطلح. حيث يمكننا فهم ما يقوله الآخرون حتى مع وجود ضوضاء شديدة في البيئة وعند سماعنا لجزء فقط من الرسالة، أو عندما تكون الجمل نحويا خاطئة وبعض كلماتها غير موجودة. فإذا سألنا شخصاً ما عن حاله وأجاب:" بخير، شكرا" أو همهم بقوله: "بخير"، فقد وصلت الرسالة وتم فهم المضمون ذاته. لحسن الحظ، فإننا قد نعيد ما قلناه إذا ظننا أن السامع لم يفهمنا، ولكننا غالبا قد نعيده بطريقة مختلفة ـــ أو قد ندعم قولنا بعدد من الأمثلة ـــ وذلك لنتأكد أن ما قلناه قد وصل للشخص الآخر بأكثر من طريقة. وفي الواقع فإن هذا الكتاب مليء بنسخ مختلفة من التعبيرات لمضمون ذات الرسالة: "الذكاء يتطلب جسدا".

وعلى العموم، فإن الأنظمة الحيوية البيولوجية تتميز بالتكرار المتداخل إلى أبعد الحدود وذلك لأن التكرار التبادلي يجعلها أكثر تكيفا: فإذا فشل أو أخفق جزءا أو عملية فإن جزءا من عملية أخرى مشابها له يحل مكانه ويتولي تنفيذ المهمة. وكذلك الأدمغة تشمل على العديد من عمليات التكرار التبادلي المتداخل؛ وتستمر أجزاءه في أداء وظيفتها حتى مع فقدان أو تلف أجزاء منها ـــ وهذا قد يكون باعث لراحة الكثير منا لعلمنا أن الكحول قادرة على تدمير أنسجة الدماغ وبإمكان الجزء الباقي أن يعمل. لذلك يبدو أن التكرار التبادلي شيء جيد. ولكن علينا أيضاً ملاحظة أن التكرار التبادلي أيضا له ثمن. إن الأجزاء الإضافية والباقية يجب أن تكون ممثلة وراثياً (بطريقة أو بأخرى)، وهي تستهلك الطاقة، ولها وزن، وبنيتها العضوية تشغل حيزا من الفراغ، وغيره. وباختصار فإن للتكيف ثمن يجب دفعه: حيث لايوجد غذاء بدون ثمن.

" في علم الهندسة، عادة يعني المصطلح الأجنبي redundancy " نسخ طبق الأصل للمكونات. فإذا أخذنا الطائرة على سبيل المثال، فبدلاً من وجود نظام ملاحة واحد فإنها تمتلك اثنين. ولكن هذا التكرار بحد ذاته غير مرغوب فيه. فإذا افترضنا أن لديك عينا بدلا من

واحدة، أو ألف عين بدلاً من اثنين، فإن ذلك لن يكون مجديا عند حلول الظلام. ولكن عندما يكون لديك نظام لمسي ونظام سمعي، مستقلان كلياً سواء في وجود الضوء أو عدمه، فإنك لاتزال تستطيع القيام بوظائفك. ومن المشوق أن النسخ طبق الأصل موجودة أيضاً في هندسة الطائرات. إن نظام المكابح في الطائرة يتألف من جزأين أو ثلاثة: الإطارات، المحرك النفاث، وفي بعض الأحيان وخاصة في الطائرات الفائقة السرعة لا بد من وجود المظلات أو البرشوتات. فإذا وجد جليدا على مدرج الطائرة، لن تكون الإطارات وحدها كافية، ويلزم إستخدام المحركات النفاثة التى لا تعتمد وظيفتها على حالة المدرج مهما كانت. وعند تعطل النظام الكهربائي في الطائرة، فإن المظلات أو البرشوتات، وهي كليا ميكانيكية الحركة، ستؤدي وظيفتها. إن وظيفة الإطارات ليست متصلة فقط بعملية كبح الطائرة، ولكنها تتعدى ذلك إلى عملية المناورة على الأرض بصفة عامة، والمحركات النفاثه ـــ غالباً، في الواقع ـــ ما تستعمل في عملية الدفع، بينما تستخدم المظلات أو البرشوتات فقط في حالات الكبح الطاريء؛ وعادة لا تكلف الكثير من ناحية الوزن والتصنيع، وتكون في متناول اليدين.

والذي نستطيع تعلمه من الأمثلة السابقة أنه يجب علينا تصميم كائنات يمكن أن تؤدي وظائفها بشكل موثوق في جميع الظروف المختلفة بتكرار تبادلي وبطريقة يكون فيها تداخل جزئي في الوظائف. فإذا كان هذا التبادل أو التداخل بطريقة كاملة، سيقوم النظامين بتأدية الوظيفة ذاتها، وذلك غير مجد اقتصادياً — وعادة — غير مرغوب فيه أيضا من منظور التكيف. وهناك طريقة أخرى لرؤية التبادل الوظيفي الجزئي وهي أن المهمة ذاتها يمكن أن تحقق بطرق مختلفة: إن عملية كبح الطائرة يمكن أن تنفذ عن طريق الإطارات أو المحركات النفاثة؛ وهكذا فإن التعرف على جسم ما يتم إما بالنظر إليه أو لمسه.

نظام الشوارب الروبوتية: الفأر الاصطناعي

وللننظر الآن إلى مثال من علم الروبوتات: "الفأر الاصطناعي: Artificial Mouse" الذي تم تطويره في مختبر الذكاء الاصطناعي في جامعة زيورخ من قبل المهندس هيروشي يوكوي (Hiroshi Yokoi)، عالمة الخلايا العصبية الدماغية ميريام فيند (Miriam Fend) والمُنَظِّر الفيزيائي سيموث بوفيه (Simon Bovet) (فند وآخرون:Fend et al., 2002). إن لدى الفئران والجرذان نظم شوارب متطورة جداً، ويمكن

توظيفها لاكتساب جميع أنواع المعلومات الموجودة في العالم. حيث يمكن إستخدامها لتحديد المسافة بينها وبين أي جسم (إذا كان الجسم في محيط إستشعار الشوارب)، كما يمكن إستخدامها لإكتشاف ملمس أي سطح وتحديد الاهتزازات. وإذا نظرنا للوحل في الغابات فإن القطط يمكنها اصطياد السمك من خلال إدخال شواربها في الماء وذلك خلال الاهتزازات التي تصدرها حركة الأسماك في الماء وبدقة متناهية يمكن لهذه القطط تحديد مكان السمكة والقبض عليها. وعادة فإن الماء في الغابات يكون به وحلا ومن من الصعب الإبصار من خلاله: والقطط يمكنها حل هذه المشكلة عند صيد السمك بإدخال شواربها في الماء، وذلك من خلال حركة الإهتزاز الناتجة من تحرك السمكة، وتستطيع القطط بدقة خارقة للطبيعة تحديد موقع الأسماك وإلتقاطه. ويستطيع الفئران والجرذان، على سبيل المثال، ليس فقط الإستشعار السلبي للمحيط والأجسام الموجودة من خلال شواربهم أثناء عبورهم بالمنطقة، ولكن أيضا لديهم عضلات تمكنهم من تحريك هذه الشوارب للأمام والخلف. إن هذه المقدرة تم تعزيزها أثناء تصميم وبناء الفأر الاصطناعي أيضاً.

إذا ركبنا ميكرفون بشارب فأر حقيقي ومن ثم وصلناه بمكبر صوتي، ومن ثم تحرك الشارب متعديا بأسطح مختلفة كالبلاستيك، زجاج، خشب، قماش، ورق فإننا نستطيع من خلال حاسة السمع لدينا أن نفرق بين كل نسيج سطحي من خلال الأصوات المختلفة التى تصدرها حركة الشارب على هذه الأسطح. إن الهدف من مشروع الفأر الاصطناعي هو دراسة النظام الحسي للشارب، وبالتحديد كيف يمكن للمعلومات الصادرة من شكلين بنيوين مختلفين تماما في طرق إتصالهم الحسية الإستشعارية، مثل نظام الإبصار ونظام الشارب، أن تستغل من قبل حيوان أو روبوت، لحل مشكلة ما، مثل إيجاد طريق العبور في متاهة أسطح جدرانها مختلفة الملمس. وإذا كان هناك تراكب وتداخل جزئي في نوع المعلومات التى يمكن إستنباطها، فقد يكون ممكنا مع مرور الزمن، أن المعلومات التى يمكن إستنباطها من من الممكن ـــ على الأقل (whisker) نظام ويسكر جزئيا ـــ أن يتم إكتسابها من خلال نظام الإبصار، وهي بدورها تمكن الفأر أو الجرذان من الحركة بسرعة بدلاً من إختبار جميع الأشياء المحيطه من خلال لمسها بالشوارب أولاً. على الأقل في حالة الفأر الاصطناعي، فإنه بالتأكيد هذا مايحدث. وتعرف هذه الفكرة باسم

التعلم عبر الوسائط(: cross - modal learning)
والذي سنتحدث عنه في سياق حديثنا عن مبدأ التناسق الحسي - الحركي وفي التطوير في الفصل القادم.
في الوهلة الأولى، قد يبدو أن مبدأ التكرار التبادلي يتعارض مع مبدأ التصميم الزهيد ذلك لان الاول يتطلب أنظمة فرعية إضافية بينما يتطلب الثاني التبسيط. وعلى أي حال فإن المبدأين مكملان لبعضهما: حتى أن الأنظمة الفائقة في التكرار التبادلي مثل الإنسان يمكن أن تستغل الديناميكية السلبية مثلا. كما أن الأنظمة يمكن أن تعمل مع بعضها البعض. فعلى سبيل المثال، قد يتطلب التفريق بين الأسطح من خلال نظام الإبصار وحده الكثير من العمليات الحاسوبية، بينما قد يسهل دمج إستشعارات النظر واللمس ـــ الشوارب أو الجلد ـــالمهمة أياً كانت. وهذا يرتبط بحقيقة أنه من خلال نوع معين من ـــ التناسق الحسي حركي ـــ فان يمكن لأحد الوسائط الحسية مساعدة تنظيم المحاكاة للحسة الأخرى، وهي فكرة يغطيها مبدأ التناسق الحسيـــ الحركي.

4.7 المبدأ الخامس لتصميم الكائن التناسق الحسي - الحركي (sensory - motor coordination)

إن مبدأ التناسق الحسي - حركي ينص على أنه من خلال التناسق الحسي - الحركي يمكن إستنتاج المحاكاة الإستشعارية المنظمة.

كما سبق وأن تناولنا في بداية هذا الفصل، فإن واحدة من أهم خصائص الكائنات المجسدة أنه كلما تتحرك ضمن النطاق البيئي المحدد لها فإنه يتولد لديها محاكاة دفع إستشعارية أتوماتيكيا: ولاتستطيع التحكم بذلك. وعندما ناقشنا مبدأ التصميم الزهيد، لقد ذكرنا لقد أوضحنا كيف يتم إستغلال هذه المحاكاة الإستشعارية لغرض معين كما في الحيوانات عندما تستغل الجاذية بإستخدام إشارات بإستشعارات القوة لتنظيم زوايا تحرك الأرجل. وبطريقة أخرى نقول أن الحيوانات ترفع أرجلها ليس فقط لتتمكن من السير ولكن لتوليد محاكاة دفع إستشعارية أيضاً. وهذه تماماً هي فكرة التناسق الحسي - الحركي: والتي تنص على أن الكائنات المجسدة قادرة على توليد محاكاة دفع إستشعارية مفيدة من خلال تفاعلها مع البيئة بطرق محددة. وفي حقيقة الأمر أن عملية الإدراك معقدة جداً. وتذكر بأن العالم من حولنا ليس واضحاً بنسبة ثمانية على ثمانية في لعبة الشطرنج: فهو مكان محموم وملئ بالضوضاء. تخيل أن كائنا بشريا مثلك كان ماشياً في أحد شوارع التسوق (Bahnhofstrasse) بمدينة زيورخ

الرئيسية الفخمة. إن المحاكاة الحسية تحدث على شبكية عينك بصورة سريعة ومتغيرة ومستمرة، فمن ناحية يتم التأثر بكل مايعبر بسرعة مثل الناس، الحافلات أو بالسيارات ومن جانب آخر فإن هذا يتغير لأنك أنت نفسك تتحرك فتتغير المسافة بينك وبين الأشياء الموجودة في البيئة من حولك وبالتالي تتغير نسبيا منظورك للأشياء التى حولك: فتارة نرى الناس من الأمام وتارة من الجنب وتارة أخرى من الخلف وقد نراهم من خلف أشياء أخرى وتظهر صورهم بشكل جزئي. إضافة إلى ذلك فإن أحوال الإضاءة تتغير فإذا دخلنا إلى مكان مغلق كالمتجر فإننا قد نخلع نظاراتنا الشمسية وقد تمطر السماء ويحل الظلام عند المساء. وما قد يثير الدهشة أنه بالرغم من كل هذا التنوع لا تكون لدينا مشكلة في التعرف في وقت قصير جدا على صديق، مركز تجاري، أو كومة من الشوكولاته خلف حشد من الناس.

وهكذا، إن التغيرات في محاكاة الدفع الإستشعارية من ناحية تعتبر أخبارا سيئة: كيف يمكن لنا صناعة روبوتات بمقدرتها إدراك كل هذه المتغيرات؟ أما الأخبار الجيدة أنه من خلال التفاعل مع العالم الحقيقي الواقعي، يمكن لمحاكاة الدفع الإستشعارية أن تبسط ويصبح من السهل التعامل مع المتغيرات. وهذا مايحدث على وجه

الخصوص عند التفاعل الحسي - الحركي المتناسق: فبتحريك رأسك بصورة عشوائية ــــ ليس من خلال التناسق الحسي - الحركي ــــ ستتولد محاكاة متعددة مع شبكية عينك وأذنك الداخلية المسئولة عن حفظ توازن جسمك (والتى تستشعر منظورك ووضعك الجسدي المتناسب مع الجاذبية)، ولكن تلك المحاكاة قد لاتكون مفيدة جدا. وفي الحال سوف نتحدث لاحقاً عن معنى التفاعل الحسي - الحركي المتناسق، ولكننا الآن نكتفي بأن الإستشعار الحسي يؤثر على الحركة والتي هي بدورها أيضاً تؤثر على الإستشعار الحسي. وأبسط مثال على التناسق الحسي - الحركي هو النظر إلى الأشياء. وعلميا يطلق المصطلح (التوضيح الشبكي المركزي: Foveation) عند تحريك العين والرأس بطريقة يظهر بها الشيء المنظور اليه في (مركز توضيح الرؤية في الشبكية: fovea). وتعتبر هذه عملية من عمليات التناسق الحسي - الحركي لأن هذه العملية تستميل الإستشعار الحسي والذي بدوره يؤثر على الحركة ــــ فيعوض عن حركة الرأس والعينين ــــ فتبقى الأشياء في مركز المجال البصري.

من المهم هنا أن نذكر أن التناسق الحسي - الحركي يحدث عادة للوصول إلى هدف واضح. فإذا كنت أسير

مثلاً بجانب طاولة عليها كوبً من القهوة، دون النظر إلى هذا الكوب، فإن سلوكي لن يتضمن تناسق حسيا حركيا فيما يتعلق بالكوب. ولكنه يشمل على تناسق حسي حركي فيما يتعلق بحركة السير، لكي يتم أسير بصورة صحيحة لابد أن يكون لي رد فعلي مقابل للإستتشعار الحسي الذي يتم استقباله جراء ملامسة حواس قدمي مع الأرض، ومن ثم قوة تأثيرحواسي على أوتار العضلات، ومن ثم الأذن الداخلية التى تساعد على حفظ توازني.

إحداث الارتباطات (Inducing Correlations)

إن التناسق الحسي - الحركي مفيد لأنه يحدث الارتباطات داخل أجزاء القناة الحسية وما بين القنوات الحسية. عندما أنظر إلى كوب القهوة على طاولتي يحدث توضيح شبكي مركزي ـــ فأنا أركز عليه في مجالي البصري ـــ وتستقر الصورة في شبكية العين على الأقل لوقت قصير، ونتيجة لذلك فإنه من السهل إصدار إشارات حسية يمكن بسهولة معالجتها من خلال النظام المرئي. وعندما أمسك بالكوب, فأنا أيضاً أحدث إستتشعارا حسيا في قنوات حسية أخرى، مثل إستشعارات اللمس في أطراف أصابعي والحواس الذاتية في ذراعي (الحواس التي تقيس الإستشعار الداخلي مثل القوة على العضلات والأوتار). ومن خلال التناسق الحسي - الحركي تترابط

إشارات طرق وقنوات الإتصال المختلفة: فعندما أمسك بالكوب وأرفعه، يحدث تحفيز حسي فوري متزامن مع حاسة اللمس والإستشعارات الموجودة في يدي وذراعي ولأن معدل .(visual system: وفي (نظام الإبصار الترابط الإحصائي لهذه الإشارات عال يصبح من السهولة معالجتها: وبدلاً من التعامل مع مجموعة من الإشارات المعقدة الضخمة، فإن الترابط يشكل فئة متناغمة من الإشارات التي يمكن من خلالها إستنباط معلومات محددة ومفيدة بسهولة. ولكن الأهم من ذلك، إن هذه الترابطات تسمح بحدوث التعلم: فيمكن تكوين علاقات رياضية بين طرق وقنوات الإتصال المختلفة. وبمنتهى البساطة، فنحن نؤمن بأن هذه الأفكار، سوف تساعدنا على تحقيق النجاحات لتوضيح مفهوم الادراك الغامض. إن الجمال الحقيقي وراء مبدأ التناسق الحسي - الحركي ليس محصورا على المبدأ وإنما يكمن في الكيفية التى يؤثر بها التجسيد على الاشارات الإستشعارية الواردة، وهذا يقترح بأن معالجة العمليات لابد وأن تتم من خلال الدماغ: فعندما تخبرني حواسي الإستشعارية بأنني أمسكت بكوب وأرى بأنه ممتليء، يجب أن أستعد لوزنه عندما أرفعه، لأنني "أعلم" أن محفزات الإستشعار لدي سوف تثار، مشيرة إلى أن الكوب ثقيل. وبعبارة أخرى إن التناسق

الحسي - الحركي يوضح الكيفية التى تتصل بها المعلومات مع الجسد. وهذه إحدى المضامين العميقة للتجسيد. ولمزيد من المعلومات عن هذه الفكرة انظر (فايفر وآخرون: Pfeifer et al.) 2006 ؛ وللتعرف على المنظور النفسي انظر (أوريجان ونوي: O'Regan and Noë , 2001).

مما ذكرناه سابقاً يبدوا أن فكرة جسم الكائن تحدث إرتباطات ممكنة، ولكنها في الوقت نفسه تعتمد على الكيفية والبديهة الحدسية. ولأغراض علمية يجب علينا "إثبات" هذه الفكرة لكونها الحالة المراد دراستها، وعلينا تدعيم حدسنا بإثباتات ودلائل علمية. وبالأحرى يجب علينا أن نوضح ذلك من خلال الطرق الإحصائية الكمية والمعلومات النظرية إذا كان حدسنا صحيح ام لا. إن عالم الكمبيوتر المهندس الإيطالي والشاب المبدع ماكس لونغاريلا (Max Lungarella) من جامعة طوكيو (University of Tokyo), وعالم الحيوان الهولندي دينيه بوخرست (Rene te Boekhorst) من جامعة هيرت فورشر (University of Hertfordshire) , وعالم خلايا الدماغ العصبية الحيوية (neuroboticist: وعالم الخلايا العصبية الأمريكي أولاف سبورنس (Olaf Sporns) من جامعة

وأنا رولف قد (Indiana University) انديانا وضحنا أنه من خلال التناسق الحسي - الحركي، يمكننا اسحداث ارتباطات في المحاكاة الحسية، وأن هذه الإرتباطات توفر أساسيات عمليتي الإدراك والتعلم.

إن فكرة التناسق الحسي - الحركي هي بالأساس فكرة قديمة. وقد استعرنا هذا المصطلح من الفيلسوف وعالم النفس الأمريكي جون ديوي (John Dewey) الذي أشار إلى هذه الفكرة في مقاله المثير للجدل " الصورة المنعكسة في علم النفس: The Reflex Arc in Psychology" والذي نشر في عام 1896. (لاحظ أيضا أن مبدأ التناسق الحسي - الحركي يلعب دوراً مهماً في نظرية جين بياجيه (Jean Piaget) عن تطوير الذكاء عندما إستخدمت لوصف مرحلة معينة ؛ بياجيه: 1952). ولقد جادل ديوي أن الإدراك يجب أن لاينظر اليه على أنه عبارة عن عملية تبدأ من تحفيز الإستشعار الحسي، وتمر عبر المعالجة الداخلية، وأخيراً تنتج حركة: هذه هي النظرة التقليدية السلوكية لعملية المدخلات – المعالجة– والمخرجات. وإلى حد ما فإن ديوي يقترح "بأننا لا نبدأ بتحفيز الإستشعار الحسي، ولكن بالتناسق الحركي - الحسي....وبمعنى محدد، إن الحركة هي الأولية والشعور هو الثانوي، إن حركة

الجسد , الرأس، وعضلات العينين هي التي تحدد نوعية ما يتم تجربته أثناء الحركة" (ديوي: 1896, 1981، ص: 127 - 128). McDermott أعيد طباعته في في الحقيقة، سوف لن نجادل بأن الحركة هي الأولية، ولكننا نصرح مرة أخرى، بأن استخدام الصورة المجازية للأنظمة الديناميكية، ولإستشعار الحسي والحركة مقترنان — وكلا منهما يعتمد على الآخر. إن محاولة التعرف على أيهما الأولي وأيهما الثانوي هو محاولة عقيمة كمسألة - البيضة - الدجاجة.!! وفي تقديرنا أن ديوي لم يكن يعرف في ذلك الوقت بأن للتناسق الحسي - الحركي أهمية رئيسية: ونقترح أنه بالإضافة إلى التحكم في استغلال الأشياء، هناك نتائج نظرية معلوماتية هامة لابد من الأخذ بها في الإعتبار، كما ناقشنا سابقا.

وكما أشرنا سابقاً بإن التصنيف يعتبر واحداً من أهم القدرات الإدراكية. إن التصنيف الإدراكي والإدراك عامةً عند الإنسان والحيوان لديه كل خاصيات وسمات التناسق الحسي – الحركي، وعند ملاحظتنا لنشاطات مختلفة كالنظر، اللمس، الشرب، السير، الكتابة، والإنصات، فإننا ندرك بأننا دائما منشغلون بتناسق حسي – حركي. وهو أحد أهم العمليات في مرحلة التطور من الطفولة إلى البلوغ، وهي تشكل الأساس للعديد من أشكال التعلم.

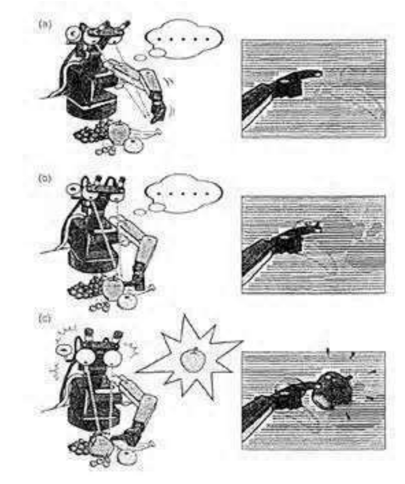
وسنناقش هذين الأمرين في الفصل القادم وسنوضح كيف يمكن للإدراك أن ينبثق من خلال عملية التطور باسلوب علمي يأخذ الإتجاه من (أسفل إلى الأعلى :bottom - up).

التعرف على الأشياء من خلال استغلال البيئة

وحتى نختم حديثنا عن التناسق الحسي - الحركي في الوقت الحالي، دعونا نستعرض مثالا من علم الروبوتات. بينما كان يعمل المهندس الإيطالي وعالم الكمبيوتر في مختبر الذكاء (Giorgio Metta) جورجيو ميتا الاصطناعي في جامعة ام أي تي علي مشروع الروبوت كان مهتما بمستوى إدراك ،(Cog) شبه الإنساني كوغ الروبوت للأشياء في البيئة المحيطة. ولقد تم تطوير كوغ عام (Rodney Brooks) في مختبر رودني بروكس 1990، وهو عبارة عن جذع بدون أرجل، ورأس بنظامي سمع و إبصاري مع ذراعين ويدين. عادة، وكما هو معلوم لدينا من خلال نقاشنا عن إبصار الكمبيوتر، والتعرف على الأشياء هي مهمة صعبة وخاصة إذا كانت هناك كومة من الأشياء متكتلة في البيئة تعمها الفوضى. من الممكن أن تكون الوان الأشياء مشابهة للخلفية، وقد تكون أوضاع الإضاءة سيئة أو أن مستوى التغاير قد

يكون ضعيفا. إن إحدى الإستراتيجيات، غالبا ماتستخدم من قبل البشر، هي تحريك الرأس بينما ينظر الى الشىء.
وعبر هذه التحركات الحسية - الحركية المتناسقة، فإن التحفيز الحسي الذي يحدث يمكن إستغلاله لإستنباط المعلومات من البيئة. إن هذه الإستراتيجية في تحريك الرأس والعين - أو تحريك رأس الروبوت والكاميرات لدعم العملية الإدراكية - أيضا يستخدم في (أنظمة الإبصار الفعالة: active vision systems).
ولتطوير الأمور أكثر أسس ميتا (Metta) برمج كوغ بإستراتيجية حسية - حركية معينة تتخطى حركة الرأس أوالعينين: فقد تمت برمجة كوغ على استغلال البيئة من خلال فحص الأشياء لمعرفة كيفية حركتها. ولقد تم هذا فقط من خلال تتبع حركة ذراع الروبوت فقط (والتي يسهل تحريكها وتتطلب نسبيا القليل من العمليات الحاسوبية) بمعنى أن كل ما يستطيع الروبوت "رؤيته" من خلال نظامه البصري هو تحريك يداه وذراعه. وبوجود لوغاريتم يتتبع الحركة، يتمكن الروبوت من رؤية يديه وذراعيه وهما يتحركان باستمرار في الفراغ.
اذا إنتشر نشاط حركي مفاجئ في المجال البصري للروبوت أثناء حركته فهذا دليل على أن الروبوت يدفع شيئاً، وذلك لأن الشيء الساكن بدأ يتحرك أيضا. إن

Spread of motion (انتشارالنشاط الحركي activity) يعني أن المدى الذي يستطيع الروبوت تتبعه قد اتسعت مساحته فجأة الى مدى أكبر بكثير من المدى الذي يحرك فيه الروبوت ذراعه. ومن السهل اكتشاف ذلك، وتلقائياً سوف "يعرف" الروبوت أي منطقة من المجال البصري تكون هيئة الشيء (انظر شكل 4.4، والذي يظهر روبوتاً مشابهاً، وهو الروبوت المعروف والذي طوره ميتا ،(Babybot) بإسم الطفل الروبوت في بحث الدكتوراه) ومن خلال التفاعل مع البيئة - بتحريك الاشياء - فإن الروبوت استحدث إستشعارا حسيا للتمييز بين حركة الذراع وتحريك الأشياء.



الشكل 4.4

توليد المحاكاة الحسية من خلال التفاعل مع العالم الحقيقى الواقعي: التناسق الحسى الحركى. إن " مختبرات ليرا الطفل الروبوت :Lira Lab's Babybot" بجامعة جينوا (University of Genoa) بايطاليا لاستكشاف المنطقة التى أمامه. وتظهر اللوحات نتائج نظام مراقبة الحركة.

(أ) اليد ظاهرة بوضوح لأنها تتحرك، بينما التفاحة والأشياء الأخرى على الطاولة غير واضحين في هذه اللحظة من خلال مراقب الحركة. (ب) يلمس "الطفل الروبوت" التفاحة ولكن التفاحة ساكنة لا تتحرك ولذا فهى غير واضحة لجهاز مراقبة الحركة. (ج) يدفع "الطفل الروبوت" التفاحة، ومن ثم تحدث حركة فتظهر التفاحة للجهاز على شكل جسم. الوصول الى التفاحة، ولمسها، ودفعها جميعها عمليات من التوافق الحسي الحركي.(التجارب التي أجراها جورجيو ميتا Giorgio Metta: و بول فيتزباتريك Paul Fitzpatrick.

عند مناقشة التصميم من أجل تفعيل النشوء فقد أشرنا إلى أنه إذا تمكنا من أن نستعرض بأن تصميم الكائن بإستخدام: artificial (التطور الإصطناعي evolution) طابق إحدى مبادئ التصميم، فإن ذلك سوف يقدم دعما إضافيا لمدى صلاحية هذا المبدأ. وكما سنرى فى الفصل السادس بأن (دافع الكتل Block: Pushers) كائنات أنتجت بإستخدام التطور الإصطناعي – أيضا تستغل التناسق الحسي – الحركي لتقوم بالحركة، بالرغم من أن هذا التوافق لم تتم برمجته أساسا.

4.8 المبدأ السادس لتصميم الكائن:)التوازن البيئي: Ecological Balance)

ان مبدأ التوازن البيئي له شقين. الشق الأول ينص على أنه عند وجود مهمة معينة في البيئة فإن هناك ضرورة لوجود توافق بين الأنظمة الحسية والحركية

والعصبية. اما الشق الثانى فله ارتباط وثيق بالشق الأول، حيث ينص على وجود توازن معين أو توزيع لمهام الكائن بين شكله الجسدي البنيوي، والمواد المصنوع منها، ونظم التحكم والبيئة.
لنتناول باختصار الشق الأول للتوازن البيئي، والفكرة أنه، عند وجود مهمة معينة في البيئة فإن هناك ضرورة لوجود توافق بين أنظمة الكائن الحسية الإستشعارية، والأنظمة الحركية ومادة التفاعل الحيادية في أنزيمات الخلايا العصبية. لقد أعطى ريتشارد داوكينز (Dawkins Richard) فى كتابة (تسلق الإرتفاع غير المحتمل: Climbing Mount Improbable) مثال بسيط عن هذا المبدأ حيث يتحدث عن حلزون افتراضي له عيون تشبه عيون الإنسان في الشكل والحجم. وهذا الحلزون سيواجه صعوبة فى حمل هذه العيون العملاقة ولكن الأهم، هو أنها هل ستكون نسبيا مفيده: فعيون الإنسان والثدييات بصفة عامة، تتكيف مع نوعية حياتنا وهذا يتطلب مراقبة الاشياء، ووضوحية عالية للصور التى تتحرك بسرعة وغيره. فالحلزون لديه استخدام لمثل هذه القدرات: فلماذا الاهتمام بمراقبة تتبع الأشياء السريعة إذا لم تكن لديك القدرة أصلا على العدو بسرعة هربا؟ منها أو إصطياد

فريسة إن كنت أصلا نباتيا؟!!! ان التعقيد والوزن وحجم العيون البشرية سوف يشكلان أعباء غير ضرورية، وهذا مثال على عدم التوازن بيئيا كليا.

واليكم مثالا آخرا، مختلف كليا.تذكر عربات بريتنبرج التى قدمناها فى الفصل الثانى، حيث تم فيها توصيل إستشعارات ضوئية متصلة مباشرة بمحركات بطريقة تجعلها تتبع الضوء. إن "عقل " هذه الروبوتات بسيط جدا، مركب فقط من سلكين، أو " تشابكات عصبية: إذا رغبت بتسميتها ذلك، ولكنها كافية " synapses لغرض تتبع الضوء أو تجنب الضوء. وإذا إستبدلت التشابكين العصبيين في الدماغ بالتعقيدات الدماغية البشرية والتي تبلغ 10^{14} تشابكا عصبيا، فالسؤال المطروح هو كيف يمكن للكائن الإستفادة من هذا الدماغ. الإجابة ببساطة هي أنه لا فائدة منها لأن هذا النظام غير متوازن بيئياً. وبناء على المهمة المطلوبة من الروبوت، يكون التعقيد في أنظمة الإستشعار الحسية والحركية بحيث يتم تعزيزها كما لو كان العقل موجود. ويعد الروبوت "خيبيرا: Khepera " ذو المحركين والذي يستطيع التحرك فقط للأمام والخلف، مثل حلزون "داوكينز"، فهو محدود القدرات لما يمكن إنجازه: فإن تجهيزه بكاميرا عالية الكفاءة، على سبيل المثال، يعد

متوازن بيئيا، ولكن لن تتم زيادة قدرات الروبوت؛ وإنما ستزيد من وزنه فقط.

ونظراً لأن الكائنات الطبيعية الحيوية – إنسان وحيوان– أثناء أطوارها، كان لديها توازن بيئي يحفظ لها مكانتها البيئية المحيطة المخصصة. فالبشر على سبيل المثال لديهم عقول ضخمة، وهذه العقول تقوم بعمليات حاسوبية أيضا، وهي إجمالاً تعتبر معظم الأنظمة الحسية والحركية تقدما على وجه الارض. لا شك أن بعض الحيوانات تمتلك بعض النظم المتقنة مثل خرطوم الفيل وأرجل الأخطبوط أو بعض الأنظمة الحسية مثل نظام الرؤية لدى الخفاش – الذى يمكنه من اصطياد الحشرات الطائرة– ولكن تأمل مدى مرونة اليد البشرية أو العبقرية التي تتحرك بها الحبال الصوتية. إن اليد مخلوقة بصورة معقدة تسمح باستخدام جيد للأدوات، والحبال الصوتية المعقدة تسمح بالكلام. أما العقل الضخم المركب فبالتأكيد مطلوب للتنسيق بين الجهاز العصبي والجهاز الحركي لآداء العديد من المهام المطلوبة. مرة اخرى، نؤكد على أنه لم يتم تطوير أحد الأجهزة قبل الآخر؛ بل تطوروا سوياً في تركيبة معقدة واحدة. أما الشق الثاني من مبدأ التوازن البيئي فهو في الأساس تعميم للشق الأول: ففي أي مهمة بيئية محددة لابد من وجود توازن معين أو

توزيع مهام بين الشكل البنيوي للكائن والمادة المكون منها وأنظمة التحكم والبيئة. وقد تم إيضاح هذا الجزء بالتفصيل فى عدة أبحاث (مثل: بونغارد وفابفر: Bongard and Pfeifer, 2001، هارا وفايفر: Hara and Pfeifer, 2000، ايشيجورو وكواكاتسو: Ishiguro and Kawakatsu, 2003، وفايفر: Pfeifer, 2000، وفايفر وآخرون: Pfeifer et al., 2004) لذا سنقدم هنا فقط نماذج قليلة من هذه الأنظمة لبناء البديهة وكي نوضح ما يعنيه هذا التوازن.

نظام اليد - والذراع - والكتف البشري

على الرغم من أن التغير بطيء في هذا المجال، ولا زالت معظم الروبوتات تصنع من خامات صلبة مثل الألمونيوم والبلاستيك، وتعتمد في الحركة على المحركات الكهربائية. وقد اتضح أن برامج التحكم لهذه الأنظمة معقدة جداً لأن كل حركة بسيطة لأي مفصل، متصل بأطراف أصابع القدم، لابد وأن يتم التحكم بها كلياً(كما وضحنا بالشكل 4.1ج). بالمقابل فإن نظام تحكم اليد - الذراع - الكتف البشري يتميز بوجود عضلات وأوتار ذات درجة معينة من المرونة. إن أحد أهم نقاط التوازن البيئي هو أن خصائص تلك المواد الخام ستقلل من تعقيد

نظام التحكم المطلوب مقارنة بنظام أكثر خواص مواد الخام المصنوع منها أكثر جمودا. تخيل لو أنك تجلس على مكتبك وتنوي مسك كوب القهوة من أمامك على المكتب. فستكتشف أن الذراعين لهما مكان ووضع طبيعي يحدده شكل الجذع والأكتاف ومدى مرونة خصائص المادة الخام التي خلق منها نظام العضلات والأوتار. إن الإمساك بالكوب في اليد اليمنى، غالباً يتم وباطن اليد موجه نحو اليسار - لكن بالإمكان بقليل من الجهد الإضافي - مسك الكوب واليد اليمنى منثنية بحيث يصبح باطن اليد نحو إتجاه اليمين. لو ارحت العضلات من هذه الوضعية المزعجة، فإن الذراع سيعود تلقائياً إلى وضعه الطبيعي. وذلك لا يتحقق من خلال تحكم النظام العصبي ولكن بواسطة خصائص المادة الخام لنظام العضلات - والأوتار. عادة، في علم الروبوتات، تكون العودة إلى الوضع الأساسي من مسؤلية وظيفة نظام التحكم، بينما الكائنات ذات العضلات البيولوجية، غالباً ما تحدث من خلال المواد الخام المكونة لنظام العضلات والأوتار. بمعنى آخر، فإن المواد الخام لنظام العضلات والأوتار تسيطر على بعض مهام التحكم التي يقوم بها الدماغ، إذا تم تصميم النظام بدون عضلات، فلابد من التعامل معه بشكل واضح. إذاً، حتى نبسط المسألة، فإنه عند صناعة

الروبوتات، قد نفكر في إستخدام عضلات إصطناعية يكون لها ذات المواصفات الموجودة في العضلات الطبيعية. وهكذا، يمكن القول بأن نظام التحكم العصبي أو برنامج التحكم مهامه مقابلة لمهام المواد الخام.

لقد ركزنا في نقاشنا على خصائص المادة الخام المكونة لنظام العضلات والأوتار. لكن من الواضح أن الشكل البنيوي في حد ذاته – أو التشريح بما أننا نتحدث عن البشر – يوفر بعض القيود الهامة التي تجعل من التحكم أمرا هيناً. فعلى سبيل المثال: إن ترتيب العظام باليد البشرية، بالاضافة إلى الأوتار التي توصل اليد ببعضها البعض، تضمن أنه عندما تغلق، فإن الأصابع لابد وأن تكون بجانب بعضها البعض.

كنموذج للروبوت المتوازن بيئيا "Puppy :بابى"

يمكننا استخدام حالة دراسة الروبوت "بابى" لتوضيح بعض النقاط الهامة حول التوازن البيئي.غالباً ما ينحدر علماء الروبوتات من خلفية نظرية التحكم، ويجادل بعض علماء نظريات التحكم أن أصعب مرحلة للوصول الى الحركة السريعة عند الروبوتات هي الإلكترونيات والتى تتحكم بالإستشعارات والمحركات. وبمعنى آخر، أن الدوائر الإلكترونية بطيئة جدا في معالجة إشارات الإستشعارات وفي إحتساب أوامر الحركة بالسرعة

الكافية. وتعتبر هذه مسألة محيرة، لأن الإليكترونيات اليوم تحسب حركتها الدورية بأجزاء من الثانية مثل الميكروثانية (10^{-6}) والنانوثانية (10^{-9})، بينما مقومات الأنظمة العصبية الحيوية أو الطبيعية أبطىء بكثيراً إذا جاز القول في: "الدورات الزمنية "cycle times" يمكن تحديد مداها مابين 10 (10^{-2} ثانية) و100 ملي ثانية (10^{-1} ثانية). بالطبع، فنحن لانستطيع أن نتكلم عن الدورات الزمنية في شبكات الخلايا الدماغية العصبية الحيوية لأنها متصلة ولاتوجد بها دوائر لساعة رقمية، ولكن من الواضح أن مقياس زمن تشغيل النظام البيولوجي أبطأ بكثير. وبالرغم من ذلك، هناك كائنات حية مثل الكلاب، والخيول، والغوريلات والبشر تتحرك بسرعة تفوق أحدث الروبوتات المتحركة ذات الأرجل. وهناك على الأقل عاملين مؤثرين في هذه الحقيقة. الأولى، أن الكائنات الحية تستفيد من التطابق الهائل في أنظمتها العصبية، مثلما تستفيد من وجود نظم الإرتدادات العكسية بأجسادنا. وبمعنى آخر فإن الإشارات ليست بحاجة إلى الإنتقال من العضلات حتى تصل إلى الدماغ ثم تعود مرة أخرى إلى العضلات ولكن من الممكن أن تتم معالجتها مباشرة من خلال الحبل الشوكي، وهكذا تقصر مدة الإستجابة بشكل واضح.

ولكن ذلك وحده لايجعل غير كاف ليجعل النظام البيولوجي الحيوي سريعا جدا. فالمطلوب بالإضافة إلى هذا هو إستغلال الكائنات المجسدة لشكلها وهيئتها البنيوية وخصائص مكونات المواد الخام لجسدها أثناء تفاعلها مع العالم الحقيقي الخارجي. ودعونا نوضح بإختصار ماتعنيه هذه الجملة. إن التفكير الحديث في (علم البيولوجيا الميكانيكية: biomechanics) إنظر بلخان وآخرون (Blickhan et al., 2003)، المجال الذي يدرس فيه سلوك تحرك الحيوانات والبشر، ويوجه العناية إلى أهمية خواص النظام العضلي – الوتري المشابه للنوابض. وعلى سبيل المثال، إن الطريقة التى يتحرك بها مفصل الركبة عندما تطأ قدمك الأرض لا يتم التحكم بها من خلال الدماغ أو الحبل الشوكي: إنها تأتي نتيجة الخواص المرنة لنظام الساق العضلي – الوتري. أما الذي يفعله النظام العصبي فهو مرونة معينة للنظام: وتكون الإشارات العصبية الدماغية صلابة مطاطية محددة لعضلات الأرجل بناء على مرحلة السير الحالية التى يكون فيها الحيوان. ولأجل ذلك فإن مسارات كل مفصل على حدة لاتخضع لتحكم الدماغ بالكامل أو الحبل الشوكي؛ وبعض التحكم يتم السيطرة عليه بواسطة خواص المواد الخام للنظام في حد ذاته.

نموذج آخر لاستغلال الخصائص البنيوية للشكل الجسدي هو (الإهتزاز السلبي :passive swing) للساق أثناء سير الإنسان، وهي ظاهرة تنعكس بصورة جلية في تصميم الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي وتشعبه كما في الروبوت "دينيس" والذي تمت مناقشته سابقا في هذا الفصل. وخلال حالة الإهتزاز يكون التحكم في حركة الساق قليلا جدا: وللحصول على الحركة المنشودة من خلال الاستغلال السلبي للجاذبية و(حركة القوة الدافعة: momentum.). وفي العادة، يتجاهل مصممو الروبوتات هذه الحقيقة، وبدلاً منها حاولوا إعادة إنتاج حركات سير الروبوتات شبه البشرية باستخدام (لوغاريتمات تحكم معقدة: complex control algorithms). ونتيجة لذلك، فإن الروبوتات – وعلى الرغم من أن بعضها حقق سرعات عالية - لا تتحرك بطريقة طبيعية ولابد من وجودها في ببيئة معينة، ومثلا فقط على أسطح مستوية ذات خواص إحتكاكية محددة.

وكما أوضحنا سابقاً فإن أرجل "بوبى" تتحرك للأمام والخلف بواسطة محركات ميكانيكية مثبتة فقط بمفاصل على "الأكتاف" و"الورك" ؛ أما باقي المفاصل سلبية: حيث لا تتحرك بأى محركات. إن كلا النوابض المرتبطة بكل ساق (إنظر شكل 3.2ب) يمكن اعتبارها عضلات

أصطناعية بسيطة جداً أو مزيج عضلي - وتري، ونظرا لمكونات خصائصها المادية الخام فإنها تتطلب القليل من المركبات والدوائر الالكترونية: فالنوابض تسيطر على المهمة التي في الحالة التى يتم التحكم بها بشكل مباشر في الحالات الأخرى. من المعروف بأن تركيب النوابض بسيط جداً، ولكن لها بعض الخصائص الأساسية التى تتصف بها الأنظمة العضلية – الوترية، مثل مرونة حركة مفصل الركب عندما تطأ القدم الأرض. على الرغم من إن أحد عيوب النوابض هو إستقرار صلابة نبضها (ويعود ذلك إلى مدى صلابة مادتها) الذي لايتغير، بينما أهم خصائص العضلات الطبيعية أنها تغير من إستقرار صلابة نبضها بسرعة فائقة لتتكيف مع متطلبات وضعها الحالي. فعلى سبيل المثال، عند الصدمات من المهم أن تكون العضلات التي تسيطر على الركبة بها الصلابة المناسبة والصحيحة. فكلما إرتفع الحيوان أكثر في قفزته، كلما زادت درجة الصلابة المطلوبة لدعم ثقل الجسم عند الهبوط، ولايزال بعض من المرونة مطلوب لضرورة لتخفيف الصدمة. ولكن السؤال الذي يطرح نفسه ماهي بالضبط درجة الصلابة المطلوبة للجري أو القفز؟ لاحظ كيف انتقل تفكيرنا من التحكم في مسارات المفاصل إلى التحكم في خصائص تركيبة أشكال البنية الجسدية؛

ونتساءل الآن عن انسب خصائص المواد الخام التى لابد أن تتشكل منها نوابض "بوبى". إنه فقط التركيز على الشكل البنيوي الذي نود التأكيد عليه في الذكاء الاصطناعي، لأن هذه الإعتبارات التى ستفيد أثناء تصميمنا للروبوتات وبالتالى تؤثر على فهمنا للذكاء. وذلك أيضا يعيدنا الى فكرة التصميم من أجل السلوك غير المبرمج أو النشوء: بمعنى أنه لو كونا خصائص المواد الخام الصحيحة، فإن المسارات المطلوبة ستنشأ من خلال التفاعل مع البيئة. أن مسألة تحديد درجة الصلابة المناسبة لكل حالة أمر صعب وسوف يتطلب الكثير من الجهد والبحث.

إن العضلات الإصطناعية هي (تقنية نشوء روبوتية: emerging robot technology) متوفرة حاليا بأشكال عديدة، ولكن النوع الأكثر انتشاراً حتى الآن هو المحرك الميكانيكي المعبأ بالهواء المضغوط – نوع من الأنابيب المطاطية محاط بنسيج مجدول – بحيث ينقبض في حالة وجود ضغط هوائي. وكما إن للمادة المطاطية مرونة كامنة و(تقيد سلبي: passive compliance)، بمعنى أن هذه العضلة ستوفر مرونة للكائن الذي توجد به عندما يواجه أي جسم. وعندما تتفاعل الروبوتات مع البشر، فإننا نريد أن تتوفر لديهم

مرونة بحيث لا تؤذي البشر: وهذه الفكرة العامة المتعلقة بالإستجابة للأجسام الخارجية فى مجال الروبوتات تعرف بإسم(المطاوعة :compliance). لقد بدأ الآن استخدام العديد من تقنيات العضلات الإصطناعية من قبل علماء الروبوتات: مثل مركبات (البوليمر polymers) الكيميائية والتى تعمل على أساس إزاحة وإحلال الشحنة، والمواد الهلامية التى تنكمش بناء على خواص السائل المغموسة فيه، والمعادن التى تتغير أطوالها تبعاً للتيار الذي يسري بها، والعديد من المواد التي لا زالت قيد التطوير في المختبرات البحثية. مثل أي نوع من التقنيات، كل نوع من العضلات الإصطناعية له مزاياه وله عيوبه. فالبعض لا يمكن شراؤه، والبعض الآخر سهل انتشاره إلا أنه يتراجع سريعاً؛ ونوع آخر قد يصاب بعطب سريعاً أو يكون بطيئاًوغيره. بينما المحركات الهوائية تكون سريعة وقوية ويمكن شراؤها في عدة اشكال. ومشكلتها الرئيسية أنها تشغل بواسطة الهواء المضغوط ويتم التحكم بها عن طريق الصمامات.

هناك خاصية أخرى مرغوبة وتتوفر بدون مقابل في العضلات الإصطناعية – على العكس من المحركات الآلية المعبأة بالهواء المضغوط –وبسبب خصائصها المشابهة لخصائص النوابض، فإنها تعمل بمثابة مخازن للطاقة:

وأثناء الصدمات، فإن جزءا من الطاقة الحركية يتحول من حالة الطيران إلى طاقة كامنة في العضلة (أو بالأحرى النظام العضلي - الوتري)، والبعض منها يعاد استخدامه في الخطوة التالية. فعلى سبيل المثال أن قفزة الكنغر، تجعله يستعيد حوالى 40% من الطاقة المفقودة ،أثناء عملية الهبوط عندما يقفز مرة أخرى (فوجل Vogel, 1998).

نعود ثانيةً إلى "بابى". إن التركيبة الصحيحة بين خواص المادة الخام وخصائص الشكل البنيوي، مثل الهيئة المعينة للجسم والأطراف هي التى تمكن بابي من الركض. تزود المحركات الآلية المعبأة بالهواء المضغوط والتي تحرك الساق للأمام والخلف الروبوت بالطاقة اللازمة والتحريك الأساسي المتناغم. بينما تعتني النوابض والعمود الفقرى المطاطي، والتركيب البنيوي المعين بالتوزيع المتناغم للقوي داخل جسد بابي أثناء تفاعله مع البيئة المحيطة به لكي يصبح متكيفا مع تغيرات البيئة. كما أن المادة قليلة اللزوجة التي صنعت منها الأقدام تعطي درجة إضافية من الحرية المطلوبة للإتزان الذاتي، أو قدرة الروبوت على تثبيت ووزن سيره دون الكثير من التحكم. ولاحظ أنه بما أن بابي مجرد نسخة مبسطة للكلب البيولوجي، فإن ديناميكيته تختلف

كثيراً عن الكلب الحقيقي، إلا أن حركته تعد طبيعية بالنسبة لهيئته التركيبية. ونتيجة لذلك، يوجد نسبة محددة وواضحة من الجمال فى حركة بابى. وبالإمكان التحقق من مدى حركة بوبى الطبيعية من خلال مشاهدة مقطع الفيديو بموقع الكتاب على الإنترنت.

هل يتحكم الدماغ بالجسم أم العكس؟

بينما يوجد فرق واضح بالنسبة للروبوتات بين المتحكم — الذي يكون في شكل (المعالج الدقيق :microprocessor) — وهو — به والمحتكم الروبوت الفيزيائي الحقيقي، إلا أن هذا الفرق أقل وضوحاً في الأنظمة الطبيعية الحيوية بكثير. وفي نهاية المطاف، فإن النظام العصبي للحيوان أو الإنسان يوجود مجسدا في الشكل الفيزيائي الطبيعي مثل بقية أعضاء الجسم: أي أنه غير مخفي بداخل معالج دقيق يعمل باستقلالية عن الجسم. إن الفيصل الذي يفرق بين المتحكم و المتحكم به في الروبوتات هواستهلاك الطاقة: عادة ما تكون الطاقة المستهلكة من قبل المتحكم أقل بكثير من الطاقة اللازمة للمحركات التي يُتم التحكم بها. وكما هو معروف، إن الطاقة التي يستهلكها الدماغ الإنساني عالية جداً وتمثل حوالي 20% من إجمالي الطاقة المستهلكة بالجسد. ولكن، أن التفريق يصبح

مبهما أكثر إذا تم إدراج الجسد في الموضوع – الشكل البنيوي وطبيعة المواد الخام المكونة - والتفاعل مع البيئة أيضا يسيطر على بعض مهام التحكم؛ مثل آداء العمليات الحاسوبية على الشكل البنيوي.

ولإيضاح الصورة: تخيل لو أنك تركض بممر على أرض مستوية ثم بدء الممر في الإنحدار قليلاً. إن ركضك بلاشك سيصبح أقل سرعة، ليس لأن المخ "يخبر" الجسم أن يركض أسرع، ولكن لأن الجاذبية سرعت من حركة الجسم، الذي بدوره جعل الأعضاء تتحرك أسرع، والذي بدوره يؤدي إلى تسريع الدوائر وتأرجح بالدماغ! إذا، فالجسم "يتحكم" بالدماغ بنفس الدرجة التى يتحكم بها الدماغ بالجسم. وبعبارة أخرى، لايوجد نظام يسيطر على الآخر؛ وإن كلا من الجسم والدماغ يشتركان معا في سلوك بعضهما البعض. وسنعرض أمثلة أخرى عبر الكتاب لهذا الإقتران المشترك.

العمليات الحاسوبية" من خلال الإستشعار الحسي" في البنية: الآيبوت "الروبوت ذو العين Eyebot"

تقريباً عام 1995 تفتق ذهن الباحث والفيزيائي لوكاس لشتنشتيجر (Lichtensteiger Lukas) مع

عن (Peter Eggenberger) زميله بيتر ايجنبرجر فكرة عبقرية مستوحاة من الحشرات. الحشرات، وعلى الأقل بعض المخلوقات، يوضح ترتيب النتوءات المسطحة في عدسة القرنية بأعينها المركبة إمكانية مشاهدة آدآء وظيفتها الهامة، فيعوضها عن المنظر الحركي المتعدد الأبعاد. فالنتوءات المسطحة في عدسة القرنية هي الوحدات الصغيرة التي يشكل تركيبها الأعين المركبة للحشرات. إن مصطلح (المنظر الحركي المتعدد الأبعاد: Motion parallax) مجرد اسم يطلق على ظاهرة معروفة لنا جميعاً. أفترض أنك تجلس في قطار وتنظر من خلال النافذة باتجاه سير القطار وعلى مسافة بعيدة ترى شجرة. وحيث انت بعيدً عن الشجرة فإنك ستراها تتحرك ببطء عبر مجال رؤيتك. أما عندما تقترب منها فستبدو الشجرة أنها تتحرك بصورة أسرع بالرغم من أن سرعة القطار ثابتة ولم تتغير. تلك ظاهرة هندسية بحتة وتنطبق على العين البشرية كما تنطبق على أعين الحشرات: إن الأجسام القريبة تتحرك أسرع عبر مجال الرؤية من الأجسام البعيدة. وعلى الرغم من أن أعين الحشرات أكثر بدائية من أعين البشر، إلا أنها ذات كفاءة عالية ومناسبة لمهمتها في توجيه الحشرة أثناء طيرانها بسرعة.

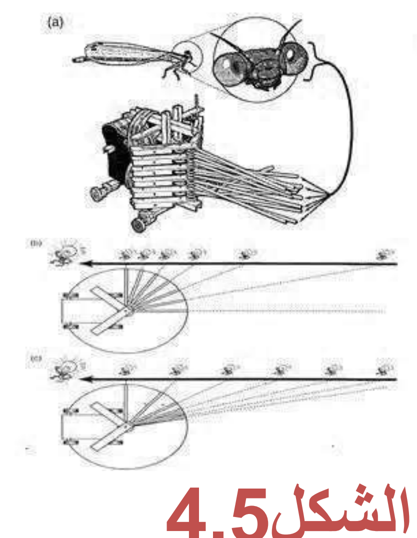
لقد وجد عالم الخلايا الدماغية العصبية والمتحمس للروبوتات نيكولوس فرانسيسشيني (Nicolas Franceschini)، الذي يعمل بالمركز الوطني للأبحاث العلمية (Centre National de Recherche Scientifique (CNRS)) بمرسيلسا بفرنسا، أن المسافة بين النتوئات المسطحة بقرنية عين الذبابة المنزلية غير متجانسة: فالكثافة بالأمام أعلى من الجوانب. ترى ما هى فائدة هذا الترتيب؟ أولاً، فمن المنطق أن تكون أعلى الوضوحية الأكثر بالإتجاه الذي تتوجه نحوه، والذي غالباً ما يكون للأمام. ولكن ثانياً، بمثل هذا الترتيب للنتوئات المسطحة بقرنية العين، فإن نقطة الضوء الصادرة — من جسم بعيد — ستتحرك ببطء — وستنتقل من نتوؤة عدسة في القرنية الى أخرى بمقدمة العين تقريباً بنفس معدل حركة نقطة ضوء سريعة صادرة — من جسم قريب — على جانب العين. وهكذا، فإن العين بسبب بنيتها التركيبة، تعوض بفاعلية أثناء المنظر الحركي المتعدد الأبعاد (أنظر شكل 4.5).

لنفترض أن حشرة "ترغب" في الطيران متخطية عائق بمسافة محددة آمنة. أحد أساليب عمل ذلك هو ابقاء مسافة جانبية ثابتة بينها وبين الجسم الذي قد ترطم

به أثناء الطيران، كما هو الحال عند مرور قضبان السكة الحديدية عابرة الشجرة. وبسبب طريقة توزيع النتوءات المسطحة بقرنية العين، فإن كل ما تحتاجه الحشرة هو إبقاء حركة التدفق البصري بصورة متواصلة؛ ومعنى ذلك، أنه يجب أن تتحرك بحيث تكون الفترة الزمنية لإنتقال النقطة الضوئية من نتوءة بالقرنية إلى أخرى ثابتةً: وهذا حقا نموذج للتصميم الزهيد! إذا كان ترتيب النتوءات بالقرنية متجانسً، بسبب المنظر الحركي المتعدد الأبعاد، فإن العمليات الحاسوبية ستصبح أكثر تعقيداً (فإن دوائر الخلايا العصبية الدماغية المختلفة التناغم لابد وأن تستخدم لأزواج مختلفة من النتوءات). وهذا إيضاح آخر لنموذج العمليات الحاسوبية البنيوية، (أو التركيبية)، أومقايضة البنية بالعمليات الحاسوبية البنيوية: وبمعنى آخر فإن العمليات الحاسوبية تتم من خلال التركيب البنيوي لعين الحشرة.

الهاما من هذه الاكتشافات لبنية عيون الحشرات، طور ليشتنشتيجر وايجنبرجر (Lichtensteiger and Eggenberger) الايبوت، وهو روبوتا به صفوف خطية من "النتوءات أو القرنيات"، وهى ببساطة أنابيب بلاستيكية بداخل كل منها إستسعار حسي للضوء(انظر الشكل4.5). يمكن تحريك هذه النتوءات كلاً على حدة

بواسطة محركات كهربائية والتى بدورها يمكن التحكم بها عن طريق برنامج حاسوبي. وتعزو الآن القدرة على تكييف سلوك الفرد إلى لدانة ومطاوعة الدماغ. ولقد اهتم ليشتنشتيجر و ايجنبرجر بقدرة التشكيل البنيوي على التكيف وطرحا السؤال التالي. لنفرض أن كائننا ما كانت لديه مهمة ان يتحرك بحيث تبقى المسافة الجانبية بينه وبين عائق ما ثابتة: ولو ثبتنا الدماغ لمدة إجراء التجربة، ولكن سمحنا للكائن بتغير هيئة وتشكيله بنيته، فهل سيتمكن من حل المشكلة وأداء المهمة إذا ما قام بتعديل تشكيلة وهيئة بنيته (وفي هذه الحالة اعادة ترتيب نتوؤات قرنية العين)؟ لقد نفذوا لوغاريتما تطوريا (انظر الفصل السادس) على الآيبوت لتحسين وضع زوايا نتوؤات قرنية العين بحيث يمر الضوء على كل زوج من نتوؤات قرنية العين



الشكل4.5

التوازن البيئى: (العمليات الحاسوبية البنيوية morphological computation) من خلال (الشكل البنيوي الحسي sensor morphology). أ) لدى الآيبوت انابيب قابلة للتعديل مفرغة مزودة بخلايا حساسة للضوء في القاعدة، وهي بذلك تشبه نتؤات القرنية الموجودة بأعين الحشرات. (ب) إذا كانت المسافة بين النتؤات القرنية متساوية، فإن نقطة الضوء التى تم تصويرها من خلال المصباح الذي يتحرك بسرعة، ستتحرك ببطء عبر المجال البصري في حال كون المصباح بعيد أو في الأمام، ولكن ستتحرك بسرعة عند المرور بجانب الروبوت. وهذه هى ظاهرة المنظر الحركي المتعدد الأبعاد.(ج) لو كانت نتؤات القرنية أكثر كثافة في منطقة المقدمة الروبوت، فستتحرك نقطة الضوء بسرعة ثابتة عبر كل الأنابيب، بغض النظر عن مكانها أمام أو بجانب الروبوت؛ إن ظاهرة المنظر الحركي المتعدد الأبعاد يعوض عنها هذا التركيب البنيوي المعين.

وبذات المعدل في الحقيقة وبعد خمس ساعات، إستطاع الروبوت حل المشكلة: حيث أن الترتيب الناتج لنتوؤات قرنية العين كان مشابها للترتيب الذي وجد في الحشرات البيولوجية، فأصبح معظم التكتل بالقرب من المقدمة والأقل ترتب على طول جانب الروبوت.

العمليات الحاسوبية البنيوية، والتحرك الزهيد والمتنوع: "ستمبى Stumpy "

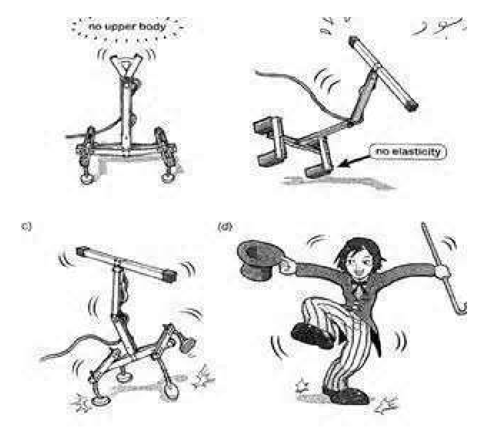
مع بدايات القرن الواحد والعشرين، اهتدى راجا دراڤيد (Raja Dravid) الفيزيائى والمهندس العصامى الذي يدير: "تعاونية المبتكر inventor's cooperative " بزيورخ — وبالتعاون مع مهندسي وعلماء الحاسوب شاندانا بول (Chandana Paul)

الى فكرة عبقرية: — (Fumiya Iida) و فومايا ايدا لقد طوروا روبوتا بسيط جدا يستطيع القيام بالعديد من الحركات مثل السير، والرقص، والوثب، والدوران. ولكن بدلاً من بناء روبوت بأرجل وجعله يتحرك بواسطة مشغل قرروا تحريك الجزء العلوى من جسم الربوت فقط.

يتكون الجزء السفلي من جسم ستمبى من حرف تي معكوسا مثبت على "أقدام" عريضة وبها قفاز. أما (T) الجزء العلوي فيتكون من حرف تي مستقيم وموصول بالجزء السفلى بواسطة مفصل يتحرك للأمام والخلف، يسمى مفصل "الوسط": من خلال هذا المفصل، يمكن لستمبى تحريك الجزء العلوي من جسمه يساراً ويميناً، لكن لا يمكنه الدوران (انظر الشكل 4.6). ويتصل العمود الافقى العلوى بالعمود الرأسى بمفصل آخر يمكنه أن يلف يساراً ويميناً، لإعطاء حرية أكبر ويسمى مفصل "الكتف" في الحركة. اذاً فلدى ستمبى درجتين من الحرية: حيث يمكنه تحريك جسمه العلوى يساراً ويميناً ويمكنه لف اكتافه لليسار واليمين، ولكن لا يمكنه الانحناء للأمام أو للخلف. إن الجزع الأفقي في أعلى الروبوت مجزأ وزنه على الأطراف ليزيد من فاعلية حركة الروبوت. ومنذ انشاء أول نموذج من ستمبى، تبعته سلسلة كامله من النسخ المعدلة في تصميماتها

وتركيباتها والمواد الخام المكونة للجسم والتي بنيت بهدف إكتشاف الطرق المختلفة التي عن طريقها يمكن للأجسام البسيطة إعطاء دفعة لسلوكيات مختلفة.

وعلى الرغم من أن ستمبى ليس له أرجل أو أقدام حقيقية، إلا أنه يستطيع أن يتحرك بعدة اتجاهات: بإمكانه التحرك للأمام بخط مستقيمً أو منحنى، وله عدة أنماط للسير مختلفة، ويمكنه السير بالجنب والدوران بمكانه. والمثير للإعجاب، ان كل ذلك يمكن تنفيذه من خلال تحريك مفصلين فقط. بمعنى آخر، ان التحكم أمر يسير جدا – فعمليا الروبوت " بدون عقل. " ان سبب نجاح التجربة هو الديناميكية، التى حددتها تركيبة البنية ومادتها الخام (المطاطية، من النوابض، وخصائص سطح الأقدام)، والطريقة التى تشتغل بها، كل ذلك يتم إستغلاله بطرق ذكية. إن حركات ستمبى العديدة والجذابة والمسلية لا تصدر فقط عن تشغيل المفصلين بطريقة معينة، ولكن لان ستمبى قد بنى بطريقة معينة (لمزيد من التفاصيل و (بول (Iida et al., 2002 ،ارجع الى (ايدا وآخرون ؛ فإذا كان تركيبه(Paul et al., 2002 ،وآخرون البنيوي مختلف، لاظهر عددا أقل من التنوعات الحركية، كما هو موضح بالشكلى 4.6 أ و ب.



الشكل 4.6

التوازن البيئى: العمليات الحاسوبية البنيوية من خلال التشيكل البنيوي والمواد الخام. ثلاث تشكيلات بنيوية معروضة، اثنان لا يعملان بكفاءة وواحد إستطاع بنجاح اداء حركاته الراقصة. (أ) روبوت بدون جسم علوى به ثقل كاف لايمكنة توليد قوة دفع لرفع اقدامه عن الارض. (ب) روبوت بدون مرونة بالقدمين لن يتحرك بشكل سليم او سيسقط أرضا لأن توزيع القوى ليست موزع بالتساو بين الروبوت و الارض عندما يتحرك. (ج) ستمبى لديه الشكل البنيوي الصحيح (جسم علوى) ومواد خام صحيحة (اقدام مرنة) كى يتمكن من اداء العديد من الحركات المسلية. (د) النظام الحيوي الذي يجسده ستمبى: اننا نستخدم الجزء العلوي من الجسم والمرونة المناسبة في السيقان للتحرك بصورة شيقة.

وقبل الإنتقال إلى المبدأ التالي، دعونا نلخص وبإختصار فكرة التوازن البيئي، كتفاعل التشكيل والمواد والتفاعل مع البيئة والتحكم، مثل، (التشكيل البنيوى المشترك: interplay of morphology)، المواد الخام المكونة للشكل البنيوي، التفاعل مع البيئة. أولا، لاداء مهمة بيئية محددة، فان الخاصية (الفيزيائية المادية) الديناميكية الحركية لجسد الكائن يمكن استغلالها وتؤدي ليس فقط إلى الأداء الطبيعي لتحركات الكائن

ولكن أيضا إلى طاقة أكثر فاعلية. ثانياً، عند استغلال الخاصية الديناميكية الحركية للكائن فإن التحكم يمكن تبسيطه بصورة ملحوظة مع الحفاظ على قدر معين من التنوع في السلوك الحركى. ثالثاً، إن المادة الخام لها خصائص تحكم جوهرية (نعنى بها، الصلابة والمرونة والتثبيط). رابعا، لأن التوازن البيئي تم استغلاله، فإن الكائنات مثل ستمبى أيضا بإمكانها اداء العديد من السلوكيات الحركية المتنوعة والمدهشة. وبهذا المفهوم فإن ستمبى أيضا يوضح نموذجا لمفهوم (الإمتثال والإختلاف أوالمطاعة: diversity - compliance): فمن ناحية يستغل الخاصية الديناميكية الحركية بطرق مدهشة ومن ناحية أخرى يعرض التنوع الحركي السلوكي على مستوى عال.

4.9 المبدأ السابع لتصميم الكائن: العمليات المتوازية والضعيفة Parallel, Loosely Coupled Processes))

ينص مبدأ العمليات المتوازية والضعيفة الترابط أن الذكاء ينبثق وينشأ من خلال عدد كبير من العمليات المتوازية والتى غالبا مايتم تنسيقها من خلال التجسيد، وبالتحديد من خلال التفاعل الضمني مع البيئة.

إن الطريقة التى نحب أن ننظر بها إلى أنفسنا، والطريقة التى نبنى بها الفكرة العامة عن الذكاء، بطريقة التنظيمات الهرمية: أنه يوجد "الأنا" والذى يدرك ما يحدث بالعالم الخارجي ويقوم بتخطيط وربط الأحداث والتصورات فم تمثيلات داخلية (مثال: كوب مليء بالقهوة موضوع على مكتبي)، ونستخدم هذا التمثيل للتخطيط لأداء عمل (الشرب من الكوب)، وأخيراً تنفيذ العمل من خلال (الوصول الى الكوب ومسكه والشرب منه). إن هذا الأسلوب لمنظور التفكير بالسلوك، أيضا يطلق عليه (نموذج الإستشعار الحسي - والتفكير – والتحريك: sense - think - act model)، ولقد تم إثبات أنه غير ملائم للعالم الحقيقي الواقعي لأن (1) أنه نموذج ذو اتجاه واحد، يفترض أن التحفيز الحسي يأتي أولاً ثم يقود إلى تمثيلات داخلية. (2) بسبب قيود الزمن الحقيقي الواقعي، فإن هذه الطريقة للعمل لن تكون ببساطة سريعة بالدرجة الكافية. تذكر مناقشاتنا حول (التوافق الحسي الحركي: sensory - motor coordination) و العدو (لقراءة مناقشات أخرى راجع على سبيل المثال فايفر و شير، Pfeifer 1999 and Scheier).

وكردة فعل لهذا الأسلوب من التفكير اقترح رودنى فى منتصف الثمانينات (MIT)بروكسمن من إم آي تي أسلوبا بديلا لمنظور الذكاء، ووصفه بأنه مجموعة من العمليات المتوازية، والمتزامنة ولكنها فقط ضعيفة الترابط. ومن هذا المنظور يعد السلوك الذكي منبثق وناشيء من عدد كبير من العمليات المتماثلة. كما ناقشنا سابقاً، فإنه حقا بروكس الذي ناقش أخيرا الدور المجسد للذكاء الإصطناعي. وفي ورقته تحت عنوان "نظام التحكم المتعدد الطبقات للروبوتات المتحركة:

"A Robust Layered Control System for a Mobile Robot" المنشورة عام 1986، قدم بروكس نظاما جذريا بديلا لتصميم أنظمة التحكم، ألا وهو أسلوب (تصميم البناء التصنيفي: subsumption architecture) الشهير(بروكس، 1986). ويعد مبدأ العمليات المتوازية الضعيفة الترابط في جوهره أسلوبا عاما لفهم تصميم البناء التصنيفي. وكما تمت الإشارة في الفصل الثاني، فإن المنشورة الأصلية اكتملت فيما بعد بالأبحاث ذات العناوين المثيرة " ذكاء بدون سبب: Intelligence Without Reason " و " ذكاء بدون تمثيل: Representation Intelligence Without ". ولا يزال النقاش مفتوحاً حول ملائمة مثل

هذه التصاميم لتحقيق مستوى عال من الذكاء. وسنعود لاحقا لمناقشة هذه النقطة فيما بعد.

loosely :يستخدم مصطلح " الترابط الضعيف مقابلا لمصطلح (العمليات المترابطة " coupled هرمياً: processes coupled hierarchically). وفي الآونة الأخيرة يوجد برنامج الذي يستدعي البرامج الفرعية ("the "I :للتحكم (الانا للإدراك)، ثم ينتظر البرنامج الُمستدعي إستجابة البرامج الفرعية (رد الفعل الإدراكي) لإكمال مهمته قبل أن يتمكن من الإستمرار (في مرحلة التخطيط لخطة العمل ثم مرحلة التنفيذ). إن هذا التحكم الهرمي يقابل الترابط القوي جدا؛ حيث يوجد نظام تحكم متين بين البرامج الُمستدعاة والبرلمجية المستدعية. لكن بالطبع، يوجد في الكائن المتكامل ارتباط وثيق ببساطة بين العمليات لأن النظام مجسد: فمثلاً مفصلين مثل الكتف والكوع اللذان يربطهما رابط فيزيائي (الذراع العلوية) يعدان مرتبطان ارتباطا قويا.

يطلق مصطلح " الترابط الضعيف أيضا على ترابط الأنظمة الفرعية في الكائن من خلال تفاعله مع البيئة، كما رأينا في مناقشتنا لموضوع توافق الأرجل أثناء سير الحشرة، حيث تم ربط أجهزة التحكم للساق الفردية من

خلال التفاعل مع البيئة بواسطة إستشعارات للقوة موجودة في الزوايا بمفاصل الساقين. ويسمى الترابط "ضعيفا" لأن التناسق الشامل تم تحقيقه بطريقة غير مباشرة ـــ من خلال البيئة ـــ وليس مباشرة من خلال النظام العصبى. فعند إمساك كوب من القهوة، وتحريك كلاً من الرأس والعينين والذراعين والأصابع حيث يترابط ذلك أثناء التفاعل مع البيئة، لذا فإن ترابط التوافق الحسي - الحركي يتضمن هذا النوع من التنظيم. وبطريقة أخرى، يوجد ارتباط ضعيف بين العمليات المتوازية ؛ ونقصد بها هنا العمليات الحسية والحركية المختلفة المشتركة فى عملية امساك الكوب: foveation ـــ النظر إلى الجسم ـــ والوصول اليه، ولمسه وأخيراً الإمساك به. لاحظ أنه كي تتوافق هذه العمليات، لابد إلي القليل من المعالجة الداخلية العصبية: فينتج التوافق من خلال البيئة.

تلعب العمليات المتوازية ضعيفة الترابط أيضاً دوراً في التفاعل الاجتماعي. يمثل روبوت التفاعل الاجتماعى" ذو الملامح القزمية، والذى طور - " Kismet :قسمت بواسطة باحثة الروبوتات سينثيا بريزيل (Cynthia Breazeal) أثناء تواجدها بمعمل إم آى تي للذكاء الاصطناعي - حيث يعتبرنموذجا آخرا رائعا لمبدأ

التصميم. إن قسمت فى الواقع مجرد رأس، و لكن من خلال تحريك أجزاء مختلفة من رأسه —— كالاستدارة والتحديق بالعين أو نطق بعض الأصوات —— يمكنه جذب انتباه المشاهد والتفاعل معه اجتماعياً بأسلوب معقد. وبدلاً من الدخول في تفاصيل كيفية عمل قسمت، فسنسأل فقط عما يمكننا تعلمه من تجارب بريزيل (Breazeal)، واليكم دلونا بهذه المسألة.

عند مشاهدة قسمت يتفاعل مع إنسان، لا يسعك إلا أن تعترف بالقدرات الاجتماعية العالية لهذا الروبوت. حيث يتم التحكم به أساساً من خلال مجموعة من ردود الأفعال البسيطة نسبياً والتي تعمل بطريقة متوازية. أحد ردود الأفعال هذه يركز على الأجسام البارزة والواضحة، بمعنى آخر أنها الأجسام التي تجذب انتباه الروبوت. إن الجسم البارز قد يكون أحد الأجسام الذي ظهر في مجال الرؤية البصرية، ومتحركا بسرعة أو قد يكون ساطعا جدا. إن رد الفعل الثاني في (تتبع - الأجسام - object tracking) ويسبب تحرك الروبوت لمتابعة الأجسام بالرأس والعيون ببطء، أما رد الفعل الثالث فيحدد موضع تمركز الصوت، بحيث يستدير الرأس باتجاه الصوت والضوضاء العالية. هناك أيضا (رد فعل التعود: habituation reflex)، وهو يعنى أن الروبوت عند

انشغاله بذات النشاط لبعض الوقت فإنه سيصاب" بالملل:
ويبحث عن شئ آخر يفعله. ولاحظ أن " bored
المفردات المستخدمة بالإنسان والتى نستعملها للروبوتات، وتذكر الإطار المرجعي: إن قسمت في الواقع لا يشعر بالملل (أم أنه يشعر بذلك؟)، ولكن المتأمل قد يرجع الموضوع إلى ملل قسمت نتيجة لتفاعله مع البيئة. وعلى الرغم من مستوى قسمت المتطور، فإن ما يعنينا من هذا النقاش هو أن هناك بعض العمليات التى تحدث مستقلة عن بعضها البعض ولكن ارتباطها ضعيف، بمعنى أنها تتناسق من خلال تفاعلها مع البيئة. بالإضافة إلى ذلك فإن وصفنا البسيط غير منصف لقسمت، فمثلاً، حيث يوجد في الحقيقة نموذج معقد للمشاعر ينطوي تحت تعابير وجه قسمت؛ وذلك لن نناقشه هنا (لتفاصيل اكثرارجع الى بريزيل، Breazeal). 2002

تخيل الآن أنني أتحدث إلى الروبوت عندها سيكون مُركزاً على وجهى. فإذا فُتح باب بجانب الغرفة وأحدث صريرًا ثم دخل شخص إلى الغرفة فإن الروبوت سيوجه رأسه نحو الباب (وتحديدا موضع تمركز الصوت) ومن ثم فإنه سيتبع ببصره لوهلة الشخص الذي دخل الغرفة (تتبع الأجسام المتحركة ببطء) بعدها سيصاب بالملل (رد فعل التعود: habituation) وإذا تحدثت إلى قسمت

مرة أخرى فإنه سوف يستدير برأسه في إتجاهي (لتحديد موضع تمركز الصوت: sound localization) وهكذا يستمر ويكون تفاعلنا سويا. إن مثل هذا السلوك هو تماما ما نتوقعه من أي شخص مؤهل اجتماعياً: شخص جديد يدخل الغرفة؛ فتوجه رأسك وربما تتبعه ببصرك لبرهة، ثم تعود مرة أخرى لإكمال نشاطك السابق. أحد الأمور المذهلة بخصوص قسمت أنه يستعرض أن اللوغاريتمات المتطورة أو التأمل والتفكير المعقد ليس بالضرورة لإنجاز مثل هذ السلوك. وهذا يقودنا إلى سؤال فلسفي عميق عن الطبيعة الإنسانية: ربما أننا نتأثر (بردود الأفعال ذات المستوى – المنخفض: low - level reflexes) أكثر من (تفكيرنا العقلي المنطقي ذي المستوى العالي: high - level rational thoughts). بالنسبة لبعض الناس فإن هذه الفكرة بلا جدال مربكة وخاصة لأصحاب المذهب الديكارتي: أي من يعتقد أن هناك فرق واضح بين الجسد والتفكير المجرد المنطقي، ومن ثم بالإمكان أن نقرر ما نود عمله بالعقل وعلى نحو منطقي. ولكن البعض الآخر قد يشعر بالراحة، عند سماع ذلك لأنه لو كانت قدراتنا الاجتماعية إلى حد كبير يسيطر عليها ردود الأفعال والمعروف أن ردود الأفعال هذه عادة ما تكون

تلقائية فلن نضطر إلى التفكير بها أو القلق عليها حيث أنها تهتم بنفسها. إن هذا الاعتقاد الأخير متأثرً بالمذهب البوذى"زن: Zen " وتفسيره لوجود الإنسان بالعالم. وحدسنا يقودنا للإعتقاد أن ذلك هو السبب الذى جعل رودنى بروك يطلق مصطلح "مذهب زن لبرمجة الروبوتات: the Zen of robot programming والذى أصبح شائعاً بين باحثي الذكاء الإصطناعي " والمهتمين بالتجسيد.

المبدأ الثامن لتصميم الكائن:)القيمة 4.10 Value)

ينص مبدأ القيمة ان الكائنات الذكية معدة بنظام للقيمة والذي يتضمن المجموعة الاساسية من الفرضيات حول ما يمكن أن يكون جيداوصالحا للكائن.

ان مبدأ القيمة يعتبر من ناحية هام جداً لأنه يتعامل مع القضية الأساسية بما هو جيدا للكائن، الأمر الذى بدوره يطرح سؤالاً عما سيفعله أو يجب أن يفعله الكائن بموقف معين. ومن الناحية الاخرى فإن مبدأ القيمة شديد الغموض، ولا يوجد اجماع في الأدبيات والمنشورات العلمية العديدة لتوضيح طريقة محددة لتطبيقه؛ سواء في مجال الاحياء أوعلم النفس أوعلم الروبوت ولا حتى في علم الذكاء الإصطناعي. اذاً فليس بوسعنا تقديم إجابة

مرضية. كل ما بامكاننا فعله، وعلى عكس مبادئ التصميم الأخرى، هو طرح عدة موضوعات وقضايا للمناقشة. يعتبر مجال البحث في موضوع القيمة بالتأكيد أحد القضايا المفتوحة في ابحاث الذكاء. وسنبدأ بهذا الفصل ثم سنتابع بعض النقاط بالفصلين الخامس و السادس.

لنناقش اولًا القيمة فى سياق التصميم وبناء الأنظمة الإصصناعية. وينص مبدأ القيمة أن الكائنات الذكية معدة بنظام للقيمة والذي يتضمن المجموعة الاساسية من الفرضيات حول ما يمكن أن يكون جيداوصالحا للكائن. وبمجرد تشكيل هذه الفرضيات، لايوجد مجال للتساؤل ـــ على الأقل لمدة معينة، عادةً تكون مدة حياة الكائن. على سبيل المثال عند تصميم (الروبوت الرفيق: companion robot) (راجع الفصل 11)، والفرضية هو أي شئ من شأنه مساعدة الروبوت على اداء مهمته ـــ مثل تسلية الانسان، وتقديم القهوة، وجز العشب، والقيام بالأعمال المنزلية، ورعاية الاطفال والتسوق ـــ وكل ما من شأنه أن يكون ذا قيمة. لذا فإن مجموعة قرارات التصميم هي التي تشكل نظام القيمة: الكاميرات والميكروفونات وشبكة الاتصالات المحلية اللاسلكية، والأقدام والذراعين واليدين وتقنيات

السيرلمعالجة الأجسام، ولتحديد كيفية التصرف أثناء حالة معينة وغيره. وكلما إتفق الكائن مع مبادئ التصميم المحددة سابقاً كلما إستطاع أن يحصل على قيمة أعلى من تركيبه (فمثلاً، قد يتمكن من العدو أسرع لو استغل مرونة المفاصل الإصطناعية). لكن تجدر الإشارة هنا إلى مشكلة الإطار المرجعي: فبالنسبة للمصمم، هذه القرارات واضحة ومستقلة ولكن بمجرد تطبيقها على الروبوت فإن سلوكه سوف ينشأ من ائتلاف جميع المكونات والآليات. وهكذا فالقيمة تكمن برأس(بعقل) المصمم أكثر من كونها برأس الروبوت.

فلننتقل الآن الى سؤال أكثر دقة: معطى كائن معين، كيف يقرر الكائن مالذي سيفعله أثناء موقف محدد؟ ان ذلك امرُ هام وخاصة إذا كانت الكائنات ذات قدرة على الإكتفاء – الذاتي والحكم – الذاتي (تلقائية) مثل آكلات الفطر (Fungus Eaters) التي يتوجب عليها إنجاز العديد من المهام للاستمرار بأداء وظائفها. غالبا، ما يتم إستخدام ما يطلق عليه (اختيار مخططات العمل: action selection schemes): إذا ما أفترضنا وجود حالة معينة ـــ مثل، عندما يعود الأولاد من المدرسة، ولا يوجد ايس كريم بالثلاجة، وتكون المكنسة الكهربائية معطلةـــ فإن هناك العديد من التصرفات التى

من الممكن أن يقوم بها الروبوت: مثل، شراء الحلويات والبسكويتات، اخذ المكنسة الكهربائية لإصلاحها، واللعب مع الاولاد وغيره. ومن ضمن هذه البدائل يتم اختيار واحد فقط بناء على الظروف الراهنة وتقييم بدائل الإختيارات. مثل هذا المنهج يستخدم غالباً في تطبيقات العالم الحقيقي الواقعي حيث الهدف هو بناء روبوت يعمل. ولكن ما القدر الممكن تعلمه عن السلوك الذكي من خلال هذا المنهج، والذي أساسا يطبق كيف نشعر نحن المصممون أننا أتبعنا لطريقة المثلى لاتخاذ القرارات؟ وباستطاعتنا التعلم عن كيفية وجودة الطريقة التى يتم بها برمجة الروبوتات لتأدية وظائفها بصورة ديناميكية حركية فى بيئة مركبة ومعقدة مثل بيئة منازل البشر، ولكن فى الواقع قد يكون ذلك ذو علاقة ضعيفة بكيفية اتخاذ "القرارات" في الأنظمة البيولوجية الطبيعية كأنظمة البشر.

دعونا نوضح هذه النقطة باختصار بتقديم مثال من علم النفس؛ "خطأ أ وليس ب A not B error " : تخيل أحد الشهيرالذى درسه أصلا بايجت (Piaget). المُجربين وهو جالساً وعلى طاولة مقابله له رضيع جالسً على ساقي أمه، أنه يوجد ثقبان بالطاولة (أ و ب) كلاهما مغطى بغطاء. يأتى المجرب بلعبة ويرفعها أمام

الرضيع لجذب اهتمامه ثم يضع اللعبة فى الثقب (أ) ويكرر نفس الحركات عدة مرات.اتضح فى معظم الحالات أن الرضيع يتجه نحو الثقب (أ) ثم يزيح الغطاء. ثم مرة اخرى يرفع المجرب اللعبة أمام الرضيع للأمام والخلف ويضعها بالثقب (ب). والمفاجأة في هذه المرة، أن الرضيع يتجه الى الثقب (أ). إن هذا التأثير يطلق عليه " خطأ أ وليس ب" وثبت أنه يحدث عند الرضع من سن سبعة إلى اثني عشر شهر. ومعظم الأدبيات والمنشورات العلمية تحاول تفسير هذه الظاهرة من خلال العمليات الإدراكية لدى الرضع. وخلافا لذلك، فقد افترض (ثيلين وزملاؤه، Thelen and colleagues) 2001 إنه بدلاً من أن يكون هذا السلوك نتيجة للعمليات الإدراكية، فإن هذا السلوك فقد يكون ناشئا من نظام ديناميكي حركي. وفي الواقع، إذا تم تغيير الفيزيائية الديناميكية الحركية للنظام (نظام التناول الحركي في الوصول للجسم لدى الرضيع) فلن يقع الرضيع فى الخطأ. فعلى سبيل المثال، أثناء، وبعد مرحلة التدريب، تغيرت وضعية الرضيع من الجلوس إلى الوضع العمودي (الوقوف)، أو عندما تمت إضافة أوزان إلى ذراعي الرضيع - في هذين المقياسين والتى تم فيها تغيير الفيزيائية الديناميكية الحركية لنظام التناول الحركي في

الوصول للجسم– فإن الرضيع لن يكرر الوقوع في الخطأ بعد ذلك. تفسير ذلك هو أنه خلال عدة محاولات من التجربة، فإن الرضيع، إعتبرها نظما فيزيائية ديناميكية حركية، وأصبح الرضيع "ملتصقا stuck :" مع حالة انجذاب معينة ولا يستطيع الفرار منها إلا إذا تغير النظام الفيزيائي الديناميكي الحركي. وفي عمر متقدم أو أكبر، فإن الحافز الخارجي للمجرب الذي يضع اللعبة بالثقب (ب) كاف لتغيير حالة الجذب لدى الرضيع، ومن ثم لا يقع فى ذات الخطأ مرة أخرى. ولذا، فإن ما يبدو مشابها لعملية اختيار الأفعال، أو ما يبدو أنه عملية اتخاذ قرار إدراكي، قد يكون فى الواقع الحقيقي ناشيء من نظام ديناميكى حركي.

يرتبط ذلك بالموضوع العام عن كيفية وضع تصور لسلوك الكائنات الحيوية الطبيعية في المواقف المعقدة أثناء محاولة لتفسير دوافعها، وهذا الموضوع الذي هو، في جوهره، مسألة القيمة. وبدون الخوض في التفاصيل — يوجد العديد من المطبوعات والمنشورات عن أدبيات الموضوع — فإن لدينا ميل قوي لأن نعزو الأهداف وعمليات اتخاذ القرار إلى البشر الآخرين (وحتى الى الحيوانات والروبوتات)، مما يتفق مع الفكر الديكارتي: الذى يوضح بأنه عندما يكون لدينا هدف، عندها سنخطط

وننفذ لإنجاز هذا الهدف. وللأسف، يبدو أن ما يعزو إلى الأهداف هو إعطاء السلوك الترابط المنطقي أكثر من إرجاء الأمر للأسباب الفعلية للسلوك (للاطلاع على هذه الموضوعات ارجع الى (ماكفارلاند و بوسر، 1993، Bösser McFarland and)، و (فايفر وشير، 1999، Pfeifer and Scheier) أو مجموعة مقالات مونتفوير و نوبل، 1989، Montefiore and Noble). إن إحدى الرؤى الأساسية المأخوذة من (المنهج التجسيدى embodied approach): هو أنه عادة ما تقدم تفسيرات أسهل للكائن وليس هناك ما يدعو إلى وجود نموذج هرمي متطور للأهداف أو معالجة للقرارات. ويعد قسمت مثالا بناءا، حيث ينشأ سلوكه أساسا من عدة ردود أفعال. وفى تجربة "خطأ أ وليس ب"، ينشأ قرار السلوك بوضوح من نظام ديناميكى حركي، وهو نظام التناول الحركي في الوصول للجسم لدى الرضيع. وقد تشكل هذه الأفكار والرؤى بديهيات ذات قيمة عند تصميم الكائنات الإصطناعية.

ولتلخيص مناقشتنا (وبسطحية بعض الشىء) عن مبدأ القيمة، دعونا نتطرق بإيجاز لمناقشة الإطارات الزمنية. فما ذكرناه حتى الآن ينطبق فى الغالب على المنظور الآني (هنا والآن)، حيث يقرر المصمم القيمة التى ستعود

على الروبوت لإنجاز مهامه. وفي الفصل الخامس، سنوفر التفاصيل عن القيمة من منظور تطوري. وإن أحد التساؤلات العميقة والتى لم يبث فيها حتى الآن هو لماذا يجب على الكائن أن يتعلم أي شيء في المقام الأول؟ وبمعنى آخر، لماذا نستمر في إكتساب مهارات متطورة ولسنا سعداء بما لدينا من مهارات؟ وسيناقش الفصل السادس المنظور التطوري للقيمة، والذي يثير التساؤل لماذا تصبح الكائنات اكثر تعقيداً أثناء العملية التطورية — أي كيف أن التعقيد الزائد مرتبط بالقيمة.

4.11 الملخص والنتائج

لقد حددنا فى هذا الفصل مجموعة من المبادئ، التى من ناحية تميز الأنظمة الحيوية ومن ناحية أخرى يمكن استعمالها كطريقة إجتهادية لتصميم وبناء أنظمة اصطناعية. على الرغم من اقتناعنا بأن هذه المبادئ هامة وضرورية وتجذب الضوء نحو الرؤى الرئيسية والتعقيدات المتضمنة في كيفية نشوء السلوك الذكي، إلا أنها تشكل مجموعة مبدئية من المباديء وبحاجة فى نهاية المطاف إلى المراجعة والتعديل. إن المجموعة الأساسية التى حُددت فى هذا الفصل ستُستكمل فى الثلاثة الفصول التالية مع عرض مبادئ اضافية عن مفهوم التطوير والمفهوم التطوري وعن الذكاء التجميعي. لقد

بذلنا قصارى جهدنا كي نبسط المبادئ مع الحرص على ابقائها مفهومة: لمزيد من المعلومات، ولكن ربما تكون غيرحديثة (انظر فايفر و شير: Pfeifer and 1999 Scheier). كما سنعرض ملخصا لكل مبادئ التصميم من الفصل الرابع الى السابع في الجزء الختامى للكتاب.

الفصل الخامس

التطوير: من التحرك إلى الإدراك

منذ أكثر من نصف قرن من الزمان، في العام 1950م، نشر عالم الرياضيات البارع ألن تورنينغ، والذي ذكرنا أنه "مخترع" مفهوم الحوسبة في الباب الثالث، مقالة مهمة في المجلة الفلسفية العقل (Mind) بعنوان: " المكائن الحاسوبية والذكاء :Computing machinery and intelligence" (تورنينغ، 1950م). ويعتبر هذا المقال علامة لبداية الذكاء الاصطناعي، كما أشار في أول جملة من المقالة: " سوف أهتم بالسؤال، "هل يمكن للآلآت أن تفكر؟: I propose to consider the question, ‘Can machines think?’" وبدلا من إقتراح أي تعريفات ــــ وحيث أصبحت لديك معرفة كافية الآن، بأننا لا نستمتع بالتعريفات بشكل خاص ـــــ فقد إقترح تورنينغ مقياساً للذكاء أو التفكير أطلق عليه "لعبة التقليد: imitation game". وتهدف الفكرة في جوهرها إلى معرفة ما إذا كان باستطاعة الإنسان أن يميز بين إجابة إنسان آخر وحاسوب: فقط من خلال كتابة أسئلة على شاشة اتصالات طرفية (communications

وإذا كان باستطاعتك اكتشاف ما إذا كان ،(terminal
الذي أجاب على أسئلتك هو الإنسان أم الحاسوب؟.
وبمعنى آخر، أنه إذا كان لدى الحاسوب القدرة على تقليد
الإنسان، فإنه بإستطاعتنا أن نفترض بأمان أن الحاسوب
يستطيع التفكير. هذا الإختبار، والذي اشارت اليه الأبحاث
العلمية التي نشرت لاحقاً تحت مسمى (إختبار تورنينغ:
أثار جدلاً حاداً ومناقشات واسعة ،(Turing test
ومثيرة إلى حد كبير عما إذا كان هذا الإختبار مقياساً
جيداً للذكاء. ولكن السبب لمراقبة هذه المقالة هنا ليس
بغرض عرض فكرة تورنينغ ذاتها بالدرجة الأولى (لمزيد
من الاطلاع انظر (سيرل، Searle)، 1980 م
أو (موور، 1994 م) كروكيت، Crockett) 2003
ولكن لنفكر كيف يمكننا صنع آلة قادرة على (Moor ،م
تجاوز هذا الاختبار. تنبأ تورنينغ بأنه في غضون
الخمسين سنة القادمة ستوجد حواسيب باستطاعتها
اجتياز هذا الاختبار. وقد أصبح هذا الإدعاء أول التنبؤات
الخاطئة في مجال الذكاء الاصطناعي. وعلى الرغم من
"أنه أخفق في تقييمه لحجم الصعوبات التي قد تواجهه،
أيقن تورنينغ أن مسعاه ليس بالسهل. ولهذا بدلا عن "
تصميم النظام يدويا: hand designing the

إقترح استخدام (المنهج التطويري "system developmental approach):

بدلا عن محاولة إنتاج برنامج يحاكي عقول الراشدين، لم لا نحاول إنتاج برنامج يحاكي عقول الأطفال؟ وإذا كان الهدف إحراز تعليم مناسب فمن الأولى الحصول على عقول للراشدين. فمن المسلم به أن عقل الطفل هو عبارة عن شيء ما شبيه بمفكرة جديدة كما لو أنه تم شرائها من القرطاسي، و الأحرى قولا أن عقل الطفل يحتوي على قليل من الميكانيكية الحركية وكثيرا من المساحات الفارغة (من وجهة نظرنا فإن الميكانيكية الحركية والكتابة مترادفة تقريبا)، وأملنا بأن عقل الطفل به القليل جداً من الميكانيكية الحركية، مما يجعل إمكانية برمجته سهلة. نستطيع افتراض أن مقدار العمل في التعليم كأول منهج للعمل تشبه إلى حدٍ كبير الطفل البشري. (تورنينغ، 1963\1950، ص 31).

لذا فقد كان اقتراح تورنينغ هو البدء بنظام ابتدائي أولي ـــ كان يأمل ـــ أن يكون تصميمه نسبيا سهلا، ثم يتم تدريب النظام من خلال طرق تعليمية، وهذا هو مايدور حوله علم الروبوتات التطوري بالتمام. أحد أكبر الاختلافات هو أن الحاسوب عبارة عن نظام غير مجسد يتفاعل بشكل طفيف مع العالم الحقيقي، في حين أن

المختصين في علم الروبوتات التطويري يعملون على نظم مجسدة —— مع الروبوتات.

ومتابعة لفكرة تورنينغ، يناقش هذا الباب قضايا أساسية في دراسة الإدراك، ولكننا مع الأسف، لا نستطيع أن ندعي وجود أي حلول جاهزة. لذا وعوضا عن التظاهر بتوفير إجابات لمشاكل غير محلولة في الوقت الحاضر، سوف نستعرض القضايا الرئيسية التي تتضمن النشوء أو السلوك الإدراكي غير المبرمج. ثم سنصف بعض التجارب التي قمنا بها. وإلى الآن فإن ما توصلنا إليه في الوسط العلمي لا يزيد عن خدش للسطح، وهكذا فإن هذا الفصل يحتوى على الكثير من التفكر والتأمل. وبالرغم من ذلك، فإن هناك الكثير من التقدم في هذا المجال.

سنطرح في هذا الباب العوامل المحفزة للمنهج التطويري، ثم موجزاً للفكرة الأساسية. بعدئذ، وفي الفصول التالية، سيتم استعراض دراسة حالة للكلب الروبوتي بابي (Puppy)، وسنرسم الطريق الذي يُمكِّن لكل من يسلكه الإنتقال من الديناميكيات الفيزيائية الأساسية حتى ينتهي به المطاف إلى محطة الإدراك. وسنشاهد سويا، أن التطوير سيزودنا في الواقع بإطار عمل لتحقيق ذلك. وسيزودنا التطوير أيضا بمنهج يمكننا

الرمز ترسيخ (مشكلة حل من: symbol grounding problem:)، والتي سوف نناقشها لاحقا. ثم سندمج أفكارا من الفصل اللاحق مع مباديء التصميم مرتبطة بحركة الروبوتات، وعلم الأحياء، والديناميكيات المعقدة حتى نستطيع إستيعاب كيف نطابق بين العقل وديناميكية الجسد. ثم بعد ذلك سنوسع دائرة نقاشنا لتضمين بعض الأفكار التي تتعلق بالتطور مثل التفاعل الاجتماعي، والتطور على فترات طويلة من الزمن، ثم سنتطرق قليلا للغة الطبيعية. وبعد ذلك سوف نوجز مميزات هذا الحقل و نصنف مجموعة من مبادئ التصميم التي طُبقت خصيصا على التطور.

5.1 الدافع الذاتي أو الإلهام: Motivation

إن الإلهام نحو التوجه من المنهج التطويري إلى الإدراك يأتي من عدة مصادر. أولاً، وهذه هي فكرة تورنينغ، وتأتي أساساً من الحقيقة البسيطة أننا إلى هذه اللحظة ليس لدينا حقاً روبوتات ذكية توازي في مقدرتها القدرة العقلية أو الجسدية للبشر. وعلى مايبدو أنه ليس لدينا المهارات المعرفية لبناء المستلزمات المادية أو صنع المستلزمات البرمجية الكافية للروبوتات بحيث تمكننا من إنجاز أي شيء بمستوى الذكاء البشري. وربما ببساطة أنه ليس لدينا فهمً كاف للميكانيكيات

الأساسية الكامنة لسلوك الذكاء. ولقد أظهرت النتائج أن استخدام المقياس الزمني "هنا - و - الآن" في تصميم سلوكيات أيدي الروبوتات أصعب بكثير مما كان متوقعاً. وعلى سبيل المثال، نحن لا نملك أنظمة إدراك حسية اصطناعية ولو من بعد يمكن أن تشابه البشر أو القرود أو حتى الجرذان. كما ولا يوجد لدينا روبوتً يستطيع السير أو الركض بسرعات مختلفة على أرض صلبة، بينما يمسك الحقيبة بيد ويحمل الطفل باليد الأخرى. ولكن ربما، قد نستطيع تصميم أنظمة كهذه من خلال المنهج التطويري، إبتداءً بالنظام الأولي الذي — نتمنى — أن يكون أبسط بكثير، حتى يتمكن الروبوت من الفهم أو الركض ذاتياً، عوضا عن الاضطرار لبرمجة أدائه بشكل واضح. وقبل أن نتعمق أكثر فإنه لابد من التنويه إلى أن هناك فارق بين التعلم والتطوير، وذلك على الرغم من تداخل المفهومين جزئياً ببعضهما البعض. خلال التطوير ينمو الكائن الحي ويصبح راشدا، بينما أثناء التعلم فإن هيئته البنيوية لا تؤخذ في الإعتبار: بمعنى آخر أن جسم الكائن ودماغه يتغيران معا خلال التطوير، بينما أثناء التعلم يتغير الدماغ فقط.

ثانيا، كما تم التنويه به في الفصل الثالث، هناك دائما ثلاثة مقاييس للزمن والتى لابد أن نأخذها في الإعتبار

عند إهتمامنا بالسلوك الذكي. في الباب السابق بحثنا منظور"هنا - و - الآن". في هذا الباب و في الذي يليه سوف نتحدث عن مقياس الوجود الجيني (حياة الفرد) والتطور العرقي (التطورية) تباعاً. ويستفيد المنهج التطويري نحو الإدراك من المقاييس الزمنية. ونأمل أن بعض خصائص الذكاء في الكائنات أو بعض مبادئ التصميم التي أوجزت في الباب الأخير سوف تنشأ من المنهج التطويري. فعلى سبيل المثال، يمكن للروبوت، أثناء تطوره، أن يؤدي عدة عمليات حركية - حسية متوازية ضعيفة الترابط، وهذا سيدعم مبدأ التصميم السابع. أما الأكثر إثارة، فهو تمكين الكائنات من مقدرتها على التطوير الذاتي، بدلا من برمجتها بالسلوك مباشرة. فقد تنشأ لدينا خصائص إضافية وقواعد للتصميم لم نفكر فيها من قبل.

الدافع الثالث: يأتي من الحقيقة أن القدرة على التعلم تعتبر واحدة من أهم مقومات الذكاء، كما أن التعليم هوأحد الملامح المهمة للتطوير، ولهذا لابد من دراسته في الأنظمة المجسدة. وللتعلم تاريخ طويل في مجال الذكاء الاصطناعي، وفي مجال تعلم الآلة – وهو فرع حاسوبي للبحث في الذكاء الاصطناعي – وقد تم تطويره الى أن أصبح مجالا كبيرا ومستقلا بحد ذاته. بيد أن أحد

مشاكل هذا المجال هو أنه يعتمد على اللوغاريتمات إلى حد كبير وأنه غير مجسد كلياً. لقد كان هذا المنهج ناجحاً جداً في بعض المجالات، مثل برامج الإنترنت التصفحية التي تتعرف على عادات المستخدم، أو (أنظمة تنقيب ــ البيانات: data - mining systems) والتي يكتشف فيها اللوغاريتم التعليمي علاقات مهمة بين مجموعات ضخمة جداً من قواعد البيانات. لكننا، ولأن هذه الأنظمة هي أنظمة غير مجسدة كلياً، فإنها تعمل فقط في بيئات رسمية إفتراضية، مثل الإنترنت، والتى بوضوح لها حالات محددة، كما تم مناقشته سابقاً. وهكذا، فإن تمثيل هذه الأفكار في العالم الحقيقي— في عالم الروبوتات — كانت في منتهى الصعوبة. حتى بالنسبة لعباقرة مصممي الروبوتات، مثل مينوريو آسادا (Minoru Asada) الذي يعمل في مختبر نظم الآلآت التكييفية في جامعة أوساكا (Osaka University)، والذي برمج الروبوتات التي تلعب كرة القدم مثل تعليمها كيف تصيب الهدف باستخدام أساليب (تعليم ــ الآلة: machine - learning)، ولا زال تكيف هذه الطرق مع روبوتات حقيقية يشكل عقبة كبيرة. ولقد نجحت الشبكات العصبية الحيوية في تمكين الكائنات البيولوجية مثل البشر والحيوانات من التفاعل بشكل ما مع العالم

الحقيقي، ولكن الشبكات العصبية الاصطناعية غالبا ما دُرست بدون تجسيد في مضمون تعليم الآلة. وحتى الباحثون في (علم خلايا الأعصاب الحاسوبية: computational neuroscience) عادة ما يدرسون الدماغ معزولا عن بقية الجسد، كما يتضح ذلك في الكتب المتوفرة، وعلى سبيل المثال، الكتاب المعروف (إعادة التفكير الفطري: Re - thinking Innateness) الذي ألفته (مجموعة الباحثين المتصلة: group of connectionist researchers) والذي عرض فقط نماذج للتطوير غيرالمجسدة (إلمان وآخرون، Elman et al.)، 1996).

رابعا، يقدم التطور إمكانية لحل مشكلة ترسيخ الرمز: كيف يمكن أن نربط ما يدور بداخل رأس الكائن مع ما يدور بالعالم الحقيقي ؛ أو بإيجاز، كيف يمكن للكائنات إكتساب المعنى؟ إن هذا لسؤال صعب جداً وسوف نناقشه بالتفصيل فيما يلي.

يأتي الدافع للعامل الخامس من علم المنهج التركيبي، والذي تُستخدم فيه الروبوتات كنماذج للتطوير وبذلك يمكن تسليط الضوء على التطوير الطبيعي ومايتبعه من ميكانيكية حركية. كما أنه من المتفق عليه أن الإدراك، أو

مستويات الذكاء العليا، تشمل القدرات التي يتطلبها التطور الجيني بطريقة أوبأخرى، و يتمثل ذلك في نمو الشخص الراشد منذ أن كان طفلاً. وهكذا، يمكننا أن نقدم مساهمة قيمة في مجال التطوير إذا استطعنا أن نوضح أن الذكاء في الروبوتات يمكن أن يتحقق ليس عن طريق برمجتها، ولكن يبدأ من عملية تطويرية يتفاعل فيها الروبوت ليس فقط مع بيئته الفيزيائية ولكن أيضا مع البشر ومع الروبوتات الأخرى لكي يصبح كائناً (أو حتى تكون) لديه قدرات مثل القدرات الإدراكية. ولاتزال نمذجة عمليات النمو في الأجهزة والمستلزمات المادية في مراحلها الأولية، ولكن يمكننا التصريح بأن تقنيات المحاكاة قد نشأت.

وأخيراً وليس آخراً، نحن نعتقد بأن هناك نوع من الدوافع الرومانتيكية خلف المنهج التطويري: مثل الرغبة في صنع روبوتً باستطاعته النمو في نظام وظيفي وبقليل من المساعدة الخارجية، تماماً كالطفل البشري، وقد إنعكس هذا طبعاً على الأسماء التي منحها الباحثون لروبوتاتهم مثل "الطفل الروبوتي: Babybot " لجورجيو ميتا (Giorgio Metta)، أو "إنفانويد: Infanoid" لهيدكي كوزيما (Hideki Kozima). وبالرغم من أن بناء روبوتً متطورً ذاتياً يبقى طموحاً

بعيداً، إلا أنه بالتأكيد يمثل رؤية مذهلة. تخيل فقط مشاهدة روبوت يستطيع إكتساب الكثير من المهارات على مدار الزمن، وفي النهاية يبدأ بالسير والتحدث من خلال تفاعله مع العالم، ومعنا نحن من خلال الإعتماد على ذاته! هذا هو الهدف النهائي في مجال الروبوتات التطويرية.

اذنً، ولإيجاز ما سبق فقد وضحنا عددا من الأسباب التى تدعونا لبناء الروبوتات التى تتعلم: حيث لا يمكننا برمجة الروبوتات بشكل مباشر لتنفيذ مهام معقدة؛ فإن مباديء التصميم التي ذكرناها في الفصل السابق ـــ وأخرى غيرها قد لا تخطر على بالنا ـــ قد تظهر لنا من خلال الروبوتات التطويرية؛ إن الروبوتات التطويرية قد تسلط ضوءاً جديداً على طبيعة التعلم، مثل كيف يكتسب ويستنبط الكائن المعنى، وكيفية التطوير بشكل عام؛ وأخيراً فإن الروبوتات التي بإمكانها النمو والتعلم قد تُرضِي الباحثين لأنها تثبت إبداعهم. ولذا يصبح السؤال الآن كيف وليس لماذا ندرس تطوير الروبوتات.

5.2 نحو تصميم روبوت متطور

عندما نتحدث عن الذكاء، فإننا نعتزم التركيز على الوظائف ذات المستوى العالي مثل حل المشكلات، وتصميم برامج الحاسوب، وكتابة تقرير، وإثبات معادلات

رياضية، وتحضير محاضرة، وإجراء تجربة علمية، والتي تعتبر جميعها نشاطات يمكن وصفها بمعالجة رموز تجريدية بحتة. وفي المنهج التقليدي يعالج الباحثون هذه المهارات بشكل مباشر، إذا جاز التعبير، عن طريق برمجة أنظمة معالجة - الرمز في حواسيبهم. ولأننا في مختبرنا الخاص (مختبر رولف للذكاء الاصطناعي في زيورخ) ندرس الجانب التجسيدي للذكاء، فقد قمنا بالكثير من الدراسات حول العمليات الحركية - الحسية، وركزنا :على ما يطلق عليه (المستوى الديناميكي المنخفض low - level dynamics) مثل تحرك الروبوتات ذات الأربع أقدام وقدمان. وقد سبب لنا هذا الكثير من الانتقادات في المجتمع: "إن عملكم في التحرك مثير في حد ذاته، إذا أردتم دراسة السير والركض، ولكنكم لا تبحثون في الإدراك!". وهكذا فقد وُصفنا على أننا جاحدون، كباحثين ارتدوا عن الهدف، وأبتعدوا عن دراسة الذكاء، وانساقوا تجاه هدف دراسة (الهندسة ذات المستوى: low - level - المنخفض engineering) لصناعة الروبوتات التى لا تستطيع سوى الحركة البسيطة.

بيد أننا كنا على موعد مع مفاجأة كبيرة، هل تذكرون في الباب السابق مناقشتنا لخصائص الكائنات المجسدة،

عندما بينّا وعن طريق الحقيقة المجردة أن الكائنات، هي عبارة عن أنظمة مادية فيزيائية، ولها حالات جذب؟ وكما بدأنا في دراسة حالة الكلب الروبوتي بابي مع فيميا أدركنا فجأة أن الديناميكيات (Fumiya Iida)ايدا الجسدية المعقدة والتي تبدو أنها هي من يقوم بالتحرك بشكل صعب جدا ـــ تسيطر على النظام من خلال عدة مفاصل ومهمة معقدة للغاية ـــ قد فتحت أمامنا المجال نحو الأنظمة الرمزية! إذنً يمكننا القول مجازيا، أنه قد نحو المستويات " going down :تبين أن " النزول الأكثر انخفاضا أصبح شرطاً إلى "الصعود going: نحو معالجة الرمز، بطريقة علمية راسخة و ذات "up مبادىء. وبصيغة أخرى، ونحن لا نعرف الرموز اعتباطا على أساس أن يحاول الروبوت فيما بعد أن يصل إلى المعنى بنفسه. وسوف نستخدم الكلب الروبوتي بابي كمركبة لنرى كيف نستطيع الانتقال من دراسة القضايا الحركية - الحسية إلى دراسة الإدراك باستخدام هذا المنظور. وكما سنرى لاحقاً ستقودنا هذه المناقشة أيضا إلى حل ـــ أو على الأقل إلى منهج واعد ـــ لجدل كبير حول مشكلة ترسيخ الرمز.

بالطبع، فإن الأفكار لا تأتي من فراغ. لذا، ومنذ سنوات عديدة ونحن نتواصل ونعمل مع بطل محاكاة

من (Yasuo Kuniyoshi) الروبوت ياسو كونيوشي جامعة طوكيو، الذي بحث في المنهج الديناميكي ذي الأنظمة الموجهة إلى مشكلة إيجاد الرموز في الأنظمة الديناميكية الحركية المستمرة. وحيث أننا انهمكنا على نحو متزايد في دراسة تحرك الروبوت (مثل السير، والركض، والرقص، والطيران، والسباحة)، لذا كان من الطبيعي دمج أفكار من نظرية الأنظمة الديناميكية الحركية في عملنا. ولقد تابع عدد من الدارسين البحث عن الرموز المتقطعة في الأنظمة الديناميكية الحركية، وكانت أبحاثهم مصدر إلهام عظيم لنا (مثال: إناموراً وآخرون، Inamura et al 2004 م ؛ إتو و تاني: Ito and Tani ،2004 م ؛ هيرتزبيرغ وآخرون، Hertzberg et al 2002م، ؛ جياغر، 1998م Jaeger ؛ كونيوشي وآخرون، 2004م Kuniyoshi et al ؛ أوكادا و ناكاموراً، 2004م Okada and Nakamura).

من المثير أن مصممي الروبوتات التطويرية، عادة ما يستخدمون الروبوتات شبه البشرية. ونحن نشك بأن هذا سببه أننا نرغب في أنجاز شيء شبيه بذكاء البشر في روبوتاتنا. إن السؤال الحقيقي، بأي حال ـــ والذي سوف نطرحه من خلال هذا الكتاب ـــ هو ماذا نستطيع

أن نتعلم من الروبوتات شبه البشرية؟ أولاً، و بسبب التحديات الهندسية الهائلة لصناعة الروبوتات شبه البشرية، فإن عدداً من التقنيات الحديثة لابد من تطويرها. (التصغير Miniaturization): على سبيل المثال يُعَد مجالاً واسعاً للبحث، مثل تقنيات التشغيل الذاتي، وأنواع جديدة من أجهزة الاستشعار (مثل إستشعارات متطورة في اللمس وإستشعارات الضغط)، وتقنيات البطاريات (أو تكونولوجيا الطاقة بشكل عام)، وأيضاً قضايا ومفاهيم نظرية التحكم مثل كيفية التحكم بالأنظمة بدرجات حرية مختلفة. وعليه فمن الناحية التقنية لايزال هناك الكثيرمما يمكن تعلمه.

ثانياً، إن محاولاتنا بناء الروبوتات تجعلنا ندرك ونقدر بسرعة حقيقة الصعوبات التى علينا تخطيها. فعلى سبيل المثال، عندما نصنع روبوتات شبه بشرية تسير ونلاحظ سلوكها، ندرك فوراً أن أسلوب سير هذه الروبوتات مختلف تماماً عن الطريقة التى يسير بها البشر. وهذا بالطبع يشحذ رؤيتنا ويركز انتباهنا على العيوب الأساسية لمنهج التصميم. هذا المنظور يوفر لنا اتجاهات نحو مفاهيم جديدة قد نرغب البحث فيها ودراستها. فعلى سبيل المثال، قد نُفكِّر في استغلال الخصائص المادية لجسم الروبوت باستخدام عضلات اصطناعية بدلا عن

المحركات الكهربائية، أو استغلال الديناميكية السلبية للساق المتأرجحة بدلاً من برمجة حركة الساق بشكل واضح.

حيث أن الروبوتات شبه البشرية لها تقريباً ذات شكل وحجم أجسادنا الطبيعية، فقد لا نحتاج إلى تغيير أي شيء في البيئة لكي تقوم بوظائفها. بحيث يكون بإمكانها استخدام أوان الطبخ ذاتها، وبإمكانها أيضا استخدام ذات الأدوات لإصلاح السيارات، وأدوات أخرى، وربما يمكن لهذه الروبوتات إصلاح ذاتها أيضا (!)؛ وبإمكانها لعب الورق، والغولف، وكرة الطاولة، و الشطرنج، واستخدام القطارات للتنقل بأنفسها؛ وبإمكانها الطباعة على لوحة مفاتيح الحاسوب، أو استخدام مفاتيح البيانو؛ و بإمكانها حتى قيادة سياراتنا أو تجذيب العشب. في العرض الياباني النهائي لبرنامج الروبوتات البشرية في عام 2002م، عُرض الروبوت على أنه باستطاعته فعلاً أن يدير المعزقة تماماً بالجلوس عليها وإدارة التحكم (انظر الشكل5.1). و في الثمانينات طُوِر الروبوت شبه البشري في جامعة واسيدا (Wabot) والذي يطلق عليه وابوت في طوكيو، ليتمكن ليس (Waseda University) فقط من العزف على الآلة الموسيقية بالضغط على المفاتيح 15 ضربة في الثانية، بل أيضا أصبح

باستطاعته قراءة نوتة موسيقية عادية. كما يستطيع لعب المزمار WF - 4 أيضا الروبوت المجسم الحديث انظر الفصل 11). بالطبع WF - 4 (لشرح كامل عن يستطيع الشخص أن ينشئ نظام تحكم للمعزقة أو الدوائر الكهربائية لإنتاج صوت المزمار، بيد أن الغرض من التجربة هو إيضاح الاستخدامات العامة للروبوتات شبه البشرية في مجتمعاتنا.



الشكل 5.1

تتفاعل الروبوتات شبه البشرية مع بيئات صُنعت لأجل البشر، لأن لها تركيبتها البنيوية المشابهة للشكل البشري، حيث يمكنها التفاعل طبيعيا مع عالمنا. (أ) روبوت شبه بشري يقود جرافة. (ب) روبوت شبه بشري يحضر الطعام من الثلاجة. (ج) روبوت شبه بشري يستقبل ضيوف في الحفلة.

وعلى أي حال، فإن هناك خطر من استخدام الروبوتات شبه البشرية. وبسبب هذا التشابه الإصطناعي للبشر، فإننا نميل بشدة إلى أن ننسب إليهاصفات بشرية

لا تمتلكها مثل القدرات اللغوية، وبصفة عامة تجربة الإحساس بالألم والسعادة أو العاطفة، أو الإحساس بالمسئولية والالتزام. وتذكر إنذار ديفيد مكفارلاند (David McFarland):":الفخار: المرض العضال" علاوة على ذلك فإن المظهر البشري يشجع البشر على تأمل الفخار. وهذا بالتأكيد مقصود من بعض الباحثين (وليس جميعهم قطعاً) لجذب وسائل الإعلام إلى أعمالهم، ولكنه أيضا يتسبب في إيجاد روابط غير مناسبة تتعلق بقدرات الروبوتات الفعلية.

تمثل الروبوتات شبه البشرية في وضعها الحالي إنجازات تقنية متطورة جداً ومؤثرة. بيد أنها بعيدة كل البعد من الاقتراب من مستوى ذكاء البشر. وكمثال على ذلك لنأخذ فقط السير: فكما ذكرنا في الباب الثاني يستطيع البشر أن يسيروا بطرق مختلفة كثيرة. ولا يقترب أي روبوت من هذا التنوع السلوكي المدهش حتى أكثرها الذي صُمم من قبل جامعة طوكيو، أو H - 7 تطوراً مثل (أسيمو الذي صمممته شركة هوندا للسيارات: Asimo of Honda Motor Corporation)، أو (أوريو الذي صُممته شركة سوني: Sony Corporation of QRIO)، أو الربوتات المشابهة للبشر ذات DB الثمانين كيلو غراما وبنسبة 30 درجة من الحرية، التي

صممتها (شركة ساركوس لتصميم الروبوتات في يوتا:
Utah - based robotics company Sarcos).

وعلى الرغم من أن الروبوتات شبه البشرية تلعب دوراً كبيراً في تصميم الروبوتات التطويرية، لكنها قد لا تكون الأداة الوحيدة. وفي دراسة الحالة التالية استخدمنا الكلب الروبوتي بابي ذو الأربعة أقدام لنوضح كيفية إنجاز عملية التطوير الروبوت. ونحن نشعر بأن هذا المثال يوضح الصورة الحقيقية للكيفية التي يمكن أن يتعلم بها الحيوان أوالإنسان أو الروبوت وعن طرق تفاعلاته مع العالم الحقيقي مما قد يمكنه في النهاية من إنشاء شيء ما شبيه بصورة الجسد والذي، كما هو متفق عليه بشكل عام، يلعب دورا مهما في تطوير الإدراك. والآن نستعرض منهجاً يوضح أن بناء كل شيء يكون تدريجياً: بدءاً من حركات الكائن الأساسية— الديناميكية الحركية ذات المستوى المتدني، إن جاز التعبير— تحديد حالات الجذب (أنماط المشية) في هذه الديناميكيات الحركية، وإنشاء صورة للجسم، مما ينتج أول مراحل من تتبع معالجة الرمز. وكما هو الحال، دائما ندرك أن المسألة في الممارسة والتطبيق معقدة أكثر مما أستعرضناه هنا، ولكن الفكرة الأساسية بسيطة ومقنعة.

من التحرك إلى الإدراك: دراسة حالة 5.3

دعونا نتذكر بابي، الروبوت ذو أربع أقدام، والذي لديه القدرة من بين عدة أشياء أخرى، على الركض. وبنظرة خاطفة نلاحظ أن جميع الحيوانات ذوات الأربع أقدام لديها عدد صغير ـــ عادة ستةـــ أنواع من المشيات التي يمكن تمييزها بوضوح (مكمهان، 1984 McMahan). وعلى سبيل المثال: السير (walking)، والهرولة (trotting)، والسير المتمهل (pacing or racking)) ويشار إليها كذلك بالكلمات ambling أي يعدو خَبَباً و سيرٌ متمهِّل(، والخبب (cantering)، و(نوعين) من العدو (galloping) وهي عندما تتحرك تستخدم عادة واحدة من هذه المشيات. ولأن المشيات تتطابق مع بعض حالات الجذب لنظام الحيوان الطبيعي الفيزيائي، فإن الحركة الطبيعية تتطلب طاقة منخفضة وتحكم بسيط. وبصيغة أخرى، فإن العضلات والنظام العصبي يؤد ون عملاً ومجهوداً أقل. ولنكون أكثر دقة بعد قليل من التأمل يمكن مطابقة مشيات الكائن لحالات الجذب الناجمةعن تركيبها الجسدي ونظامها العصبي مجتمعين، وليس فقط النظام الجسدي وحده. وذلك لأن النظام العصبي لديه ديناميكية كامنة ـ سرعته التشغيلية ـ وهذا النظام يجب أن يكون في تناغم

مع النظام الجسدي الفيزيائي. وكلما ازداد تعقيد جسم الحيوان، كلما تعددت طرق تحركه، وبالتالي تتعدد حالات الجذب الممكنة لحركة ذلك الجسم. وهذا ينطبق أيضاً على النظام العصبي وبالتالي على النظام الجسدي - الدماغي. ومن الضروري أيضا إدراك أن هناك حالات جذب محددة دائماً تظهر أثناء التفاعل مع البيئة. فإذا كانت الأرض زلقة، أوتتجه نحو الأعلى أو الأسفل أو غير مستوية، فإن المشيات الملائمة لذلك —— وبالتالي حالات الجذب —— سوف تكون مختلفة: فالصعود إلى أعلى سوف يؤدي إلى خطوات أقصر من تلك التي نخطوها أثناء النزول من التل. وعندما نتحدث عن حالات نظام جذب النظام الجسدي - الدماغي، فالمعنى يتضمن أن الكائن يتفاعل دائماً مع بيئة خاصة. وعندما نتحدث عن حالات جذب هناك أيضاً العديد من النقاط المهمة التي يجب تأملها والتى تتعلق بأنماط المشيات.

أولا: لأن المشيات تتطابق مع حالات الجذب عندما ننظر اليها كنظام ديناميكي، لذا يمكننا تعريفها بوضوح وبشكل منفصل، بالرغم من أن الحيوان في حد ذاته عبارة عن (نظام ديناميكي مستمر كامل: completely continuous dynamical system). وكما هو ملحوظ فإن المشيات المختلفة

متميزة عن بعضها البعض: فالحيوان إما أن يمشي أو يهرول، ولكن لا يستطيع القيام بالاثنان معا. فعندما يغير سرعته فإن الحيوان يكون في حالة إنتقالية سريعة من مشية إلى أخرى، ثم بعد ذلك يحافظ على تلك المشية لبعض من الوقت.

ثانيا: إن الحيوان قد يغير سلوكه أو لا يغيره بناءعلى المرحلة الحالية المحددة لدورة تحركه. خلال مرحلة الطيران (تكون جميع الأقدام بعيدة عن الأرض)، يقترن النظام بالبيئة بإحكام، أو، على نحو مجازي يمكننا أن نصرح، فإنه يكون في قبضة الديناميكية الحركية الفيزيائية. مثل المسار الذي يأخذه الحجر عند رميه لأعلى في الهواء، فإن مسار جسم الحيوان خلال مرحلة الطيران لايتغير بسهولة بل إنه من الصعب جداً (أو المستحيل) أن تتم السيطرة عليه في هذه النقطة. لذا فإنه من الأفضل ترك النظام لديناميكيته الخاصة، أو إن جاز التعبير؛ ستعيده ـــ الجاذبية بطريقة أو بأخرى ـــ إلى الأرض. وخلافا لذلك، فإنه من الواضح والأيسر أن تتم السيطرة على النظام خلال مرحلة وضعية معينة (قدم أو أكثر على الأرض).

ثالثا: أن مرحلة الثبات والتى تكون فيها واحدة أو أكثر من الأقدام على الأرض تعتبر هي نقطة التحكم في

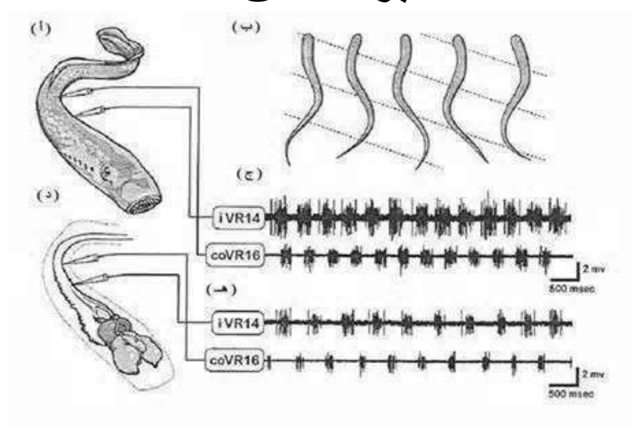
سلوك ركض الكائن، لذا فإنها تزودنا بأساس جيد في السلوك إلى (segmentation: تقطيع أو تجزيء عدة أجزاء، وهي فكرة ندين بها إلى ياسيو كونيوشي (Yasuo Kuniyoshi). فعندما نراقب، ونحلل، ونتواصل مع أى شيء ذي علاقة بسلوك الكائن، فإننا دائما نقوم بنوع من التقطيع والتجزئة، وغالبا مايتم ذلك دون إدرك منا. فنقول مثلا بأن الكائن يركض، ويمشي على الأرض، ويأكل، ويمسك بالزجاجة، ويدخل في محادثة، ويشرب من الكأس، ويشاهد التلفاز، ويأكل الفول السوداني، ويقرأ الجريدة وغيره. وهذا يوضح أن هناك كثيرا من العشوائية في تقطيع السلوك لأن هذا التقطيع مبني على وجهة نظر المراقب فقط. وذلك على خلاف ما إذا توفرت مقاييس لهذا التقطيع مبنية على نقاط تحكم معينة، عندها فقط ستكون التجزئة نتيجة سلوك الكائن ذاته وليس نتيجة لمنظور المراقب (العشوائي)، وبناء على ذلك سيكون التقطيع بالتأكيد أكثر موضوعية. بيد أن، في هذه الحالة، يتم تعريف مرحلة الثبات المعينة من قبل المراقب، وبذلك سوف يتطابق تقطيع المراقب مع حركة الكائن.

لنفترض للحظة بأنك تسير متجها إلى خارج الغرفة، ولكن هناك مجموعة من الناس بينك وبين الباب مما

يستوجب عليك أن تغير مسارك كثيرا لتصل إلى الباب. وأيا كان إختيارك "ستغادر الغرفة"، " أوستذهب إلى الباب"، "أو ستخرج عن طريقك"؟ سيكون جيدا، ولكن لاحظ أن اختيار تفسير معين لربطه مع أي من هذه الحالات سيكون اختياراً عشوائياً تماماً، ويعتمد أكثر على منظورك أو بصورة أدق على السلوك ذاته. على أي حال، هناك وسيلة طبيعية واحدة على الأقل لتقطيع وتجزئة السلوك، ويتم ذلك بناء على الخطوات الفردية. وعليه، في بعض الأحيان، يمكننا أن نتوصل إلى طريقة للتقطيع الطبيعي على مستوى معين، بينما يكون التقطيع عشوائياً على مستوى آخر. إن تقطيع وتجزئة السلوك المستمر إلى أجزاء معروفة، ومحددة وغير عشوائية في حالات مثل القفز أو التخطي يمثل خطوة مهمة نحو تشكيل (فئات سلوكية رمزية: behavioral categories symbolic). والأكثر أهمية، أنه تظهر لنا الطريقة التي قد يتم إستخدام الرمز بها لتكوين — مجموعة الرموز —التالية. فعلى سبيل المثال، بتمديد مدة المراقبة، نستطيع تجميع عدة خطوات لنقدم مفهوما جديدا مثل "السير"، والذي يعد مجموعة من الخطوات المتتالية.

رابعا: يجب أن تتناغم ديناميكية النظام العصبي مع ديناميكية الجسد. ونستطيع بثقة افتراض ذلك في الحيوانات، لأن التركيب البنيوي للخلايا الدماغية والجسدية قد تطور بشكل متزامنً مع بعضه البعض: اختيار الضغط، والتوجيه نحوالبقاء للأقوى، ينطبق على كامل الكائن الحي وليس فقط على جزء واحد منه. لننظر إلى ذلك في المثال التالي.

وجد عالم خلايا الأعصاب الدماغية السويدي الشهير ستن غرلنر (Sten Grillner) في معهد كارولينسكا (Karolinska Institute) في ستوكهولم، أن تحرك سمكة الجلكى - شبيهة بسمكة الأنقليس التى تشرب دماء غيرها من السمك - تخضع لسيطرة



الشكل 5.2

الإرتباط التبادلي المشترك بين الأعصاب ونظام الجسم خلال التحرك. (أ) سمكة الجلكى تسبح في الماء. (ب) الحركة المتذبذبة البندولية أثناء السباحة. (ج) تسجيلات من مولدات الأنماط المركزية (CPGs) أثناء

السباحة. (د) العمود الشوكي المعزول لسمكة الجلكى. (هـ) تسجيلات في العمود الشوكي المعزول (CPGs).

ما يسمى مولدات النمط المركزي، حيث يساهم التركيب البنيوي للخلايا الدماغية في تنشيط عضلات سمكة الجلكى بشكل دوري بتردد محدد لتؤدي حركة إيقاعية منتظمة (لعرض ممتاز وسهل القراءة، انظر غريلنر، Grillner، 1996 م). ولقد تمت تجزئة جسم سمكة الجلكى إلى 100 جزيء وجميعها تحتوي على حزمة من الأعصاب (مولدات النمط المركزي)، وجزء النخاع الشوكي، والعضلات، والإستشعارات وأشياء أخرى (انظر الشكل5.2). ويتم تنشيط القطع واحدة تلو الأخرى من قبل النظام العصبي، وبشكل متعاقب، بطريقة تجعل نوعا من الموجات تنتقل عبر الجسم بأكمله. ويطلق على زمن التأخيرفي تنشيط الأجزاء التالية (مرحلة الفرق: phase difference). وعندما تم عزل حبل السمكة الشوكي عن جسمها بعملية جراحية ووُضِع في محلول غذائي، كل من مرحلة الفرق وتردد الإشارات العصبية أظهرت تغيرا، أمكن تسجيله بواسطة جهاز تسجيل فسيولوجية العصب (مثال، جوان وآخرون، 2001م، Guan et al). ولكن على خلاف توقعاتنا، فإن الذبذبات البندولية تكون أسرع في الحيوان السليم المتكامل، بدلا من حركات العضلات ونتائج تفاعلها مع

البيئة، حيث يُولّد رد فعل حسي (استشعاري) والذي بدوره يؤثر على النشاط العصبي لسمكة الجلكى. وهذا يوضح أننا لا نستطيع فهم السلوك الطبيعي للحيوان فقط عن طريق دراسة الدماغ أو دراسة الجسم منعزلا. لذا ـــ ومرة أخرى ـــ لدينا إثبات بأن الجسد يشكل نشاط الدماغ بقدر ما يشكل نشاط الدماغ حركة الجسم: أي أن الدماغ لا يتحكم بالجسم، ولكن هناك إرتباط تبادلي مشترك بين الدماغ والجسم. إن إرتباط الدماغ - و - الجسم يغير تردد الذبذبات البندولية المرجح حدوثها في جسم الحيوان، مما يعني أنه عندما نعرف حالات الجذب، .لابد علينا من الإهتمام بترابط النظام العصبي - الجسدي

النقطة المهمة هنا هو أن هذه الترددات المرجح حدوثها والتى تتوافق مع حالات الجذب تسمح للحيوان أن يتحرك بفعالية، كما شوهد ذلك خلال السباحة، أو السير، أو الركض. وبالمثل، فإن ترددات إشارات التحكم المعزولة للمحركات الداعمة في الكلب الروبوتي بابي تختلف عن الترددات الناجمة عن تحركات قدمه عندما يكون على الأرض وتختلف عنها عندما يركض. وكما سنشاهد في الباب القادم الكيفية التى نستطيع بها استخدام أنماط مشية الكلب الروبوتي بابي لإبتكار شيء .ما شبيه بصورة الجسم

5.4 من أنماط المشية إلى صورة الجسم إلى الإدراك:(From Gait Patterns to Body Image to Cognition)

قبل أن نتعمق في مناقشة صورة الجسم دعونا نعلق بايجاز على المصطلحات. فعندما نتحدث عن صورة الجسم هنا، فإننا نعني الهياكل العصبية (الاصطناعية) التي يمكن استخدامها من قبل الكائن ليوجه حركاته وليقوم بالتكهنات عن المحفزات الاستشعارية أو الحسية التي يمكن أن تنتج عن حركة معينة مثل التخطي، أو إمساك الكأس، أو تدوير الرأس. فنحن نشعر بأن هذا الوصف على الأقل يقرِّب التصوير الفعلي لاستخدام هذا المصطلح في المؤلفات.

ولكن لنعد إلى بابي ودراسة الحالة. تحدثنا إلى الآن عن الركض، وإستغلال خصائص المواد، والأنظمة الديناميكية، وحالات الجذب، والتحكم. ولا زلنا لم نوضح بعد كيف تقود كل هذه الأشياء إلى الإدراك. لذا دعونا نفصل فيها. نستطيع بسهولة رسم تخطيط بياني لأنماط مشيات مقابل لمس الأقدام للأرض لكل كائن ذو أربع أقدام كما يتضح في الشكل (أ:4.2). يشير خط التقسيمات في التخطيط البياني إلى القدم التي لامست الأرض وزمن ملامستها. فهذه الرسوم البيانية يمكن إستخدامها للتعرف

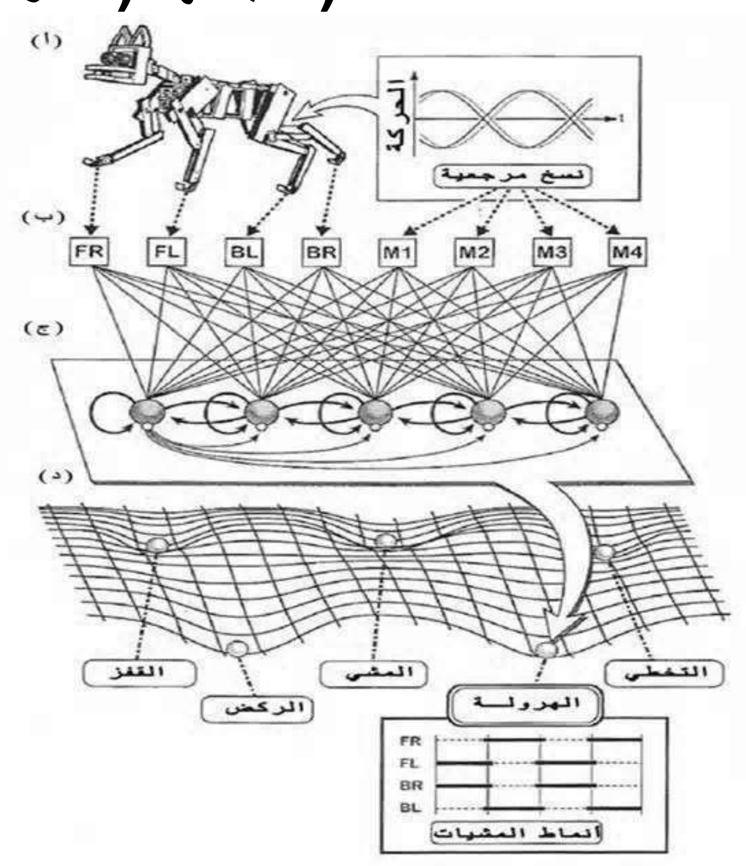
على أنماط المشية، فإذا كانت الأنماط دورية أو شبه دورية تتوافق مع مشية محددة، سيكون ممكنا ليس فقط للمراقب الخارجي بل أيضا للروبوت ذاته أن يتعرف على أنماط مشياته. لقد أجريت بعض التجارب على الكلب بابي، ولم يكن للروبوت أي استشعارات حسية، وهذا يؤكد أن الروبوت لم "يعرف" شيئا عن تحركاته الخاصة. وسواء كانت الرجل متجهة نحو الأعلى في الهواء أو الأسفل كما يراها المراقب الخارجي، فإن الروبوت ذاته "لم تكن لديه أية فكرة" عن وضعه إن جاز التعبير. ولقد تم استخدام علامات التنصيص هنا لتدل على أننا لا نتحدث عن المعرفة الإدراكية أو الأفكار الواقعية، ولكن على الأصح نريد أن نعبر ببساطة أنه لا تتوفر لدى الروبوت أي معلومات تتعلق بحالة التحرك عن وضع حالي معين. لو أضفنا الآن بعض أجهزة محفزات الاستشعار الحسية، على سبيل المثال، إستشعار الضغط على أقدام الروبوت حيث تستطيع جمع الإشارات من الأرجل (بتردد 500 مرة في الثانية)، وذلك يُمَكِّن الروبوت من "معرفة" أنماط سيره. هذه الإشارات يمكن تغذيتها للشبكة العصبية الدماغية الإصطناعية كما هو (موضح في الشكل 5.3).

دعونا الآن نرى بإيجاز كيف يمكن بناء وتركيب هذه الشبكة لتتبع أنماط المشيات الدورية. هناك عدة طرق حول كيفية إنجاز ذلك، وعموما ليس هناك منهج مقبول لهذه المشكلة؛ فنحن نناقش احتمالا واحدا هنا. وقد سبق أن رأينا في الباب الثالث بعض شبكات الأعصاب الدماغية الإصطناعية البسيطة جدا مثل تلك المستخدمة في التحكم بمركبات بريتنبرغ للحصول على سلوكيات تتبع واجتناب الضوء، ولكننا سوف نركز الآن على الشبكات الأكثر تعقيدا. ولإعطاء فكرة شاملة عن الشبكات العصبية الاصطناعية انظر إطار التوضيح5.1. تحتوي الشبكات العصبية الدماغية الاصطناعية دائما على طبقة إدخال توفر للشبكة الإشارات المكتسبة من محفزات الاستشعار. وفي مركبات برتنبيرغ كانت هذه الطبقة عبارة عن محفزات الاستشعار للضوء أو أجهزة استشعار لقياس الأبعاد مثل قرب المسافة؛ ولكن في حالة بابي لدينا أربع أجهزة استشعار بالضغط على الأقدام، إذنً تتألف طبقات توضح ،(nodes :الإدخال من عدد أربعة (عقد بياناتية كل واحدة منها ما إذا كانت القدم في هذه النقطة من الزمن تلامس الأرض (قيمة =1) أو لا تلامسها (قيمة = 0). ويمكن أن تـُعالج بيانات الإدخال هذه عن طريق :(شبكة عصبية دماغية مرتدة بإتجاه معاكس

وكما تستقبل ،recurrent neural network) مدخلات المحفزات الاستشعارية من البيئة، فإنها أيضا تستقبل مدخلات من الشبكة ذاتها. وتُنجز هذه العملية بواسطة (تكرارات :loops) يمكن أن تستخدم لتحافظ على تنشيط الشبكة لمدة زمنية محدودة، وبالتالي تعمل كنوع من الذاكرة قصيرة المدى أو الذاكرة النشطة. هذه الذاكرة ضرورية لتتبع الأنماط الدورية المنتظمة التى توفرها المحفزات الاستشعارية عبر الزمان. أو بصيغة أخرى، يجب على النظام أن "يتذكر" الإشارات السابقة ليميز ما إذا كان هناك تكرارسلوكيً للبيانات أم لا. إن إكتشاف سلوك الأنماط الدورية عملٌ في منتهى الصعوبة، حيث لاوجود في العالم الحقيقي لحدثين متتالين متطابقين تماماً.

إن شبكات الأعصاب الدماغية الحيوية تعتبر هي الرائدة في التعامل مع هذه الاختلافات والمتغيرات لأنها بالطبع تطورت في العالم الحقيقي. وتستطيع هذه الشبكات أيضا إذا لزم الأمر التكيُّف مع المتغيرات البيئية. ومثل هذه القدرات أيضاً متوفرة في شبكات الأعصاب الدماغية الاصطناعية بدرجة معينة. وعلى الرغم من بساطتها، الا أن ذلك يمنح لهذا النوع من الشبكات أهمية كبيرة في أوساط علم الروبوتات. فإذا احتوت بيانات الاستشعار

على أنماط نظامية متكررة، فسوف تستقر العقد البياناتية في حالة جذب ذلك لأن الشبكة بذاتها عبارة عن نظام ديناميكي. أما إذا بدأ الكائن بالانتقال نحو مشية أخرى فقد تستقر الشبكة في حالة جذب ثابتة ولكن مختلفة عن سابقتها (انظر الشكل 5.3)



الشكل 5.3

ترسيخ الرمز: حالات الجذب والشبكات العصبية الدماغية الضمنية. يوضح الرسم الشبكة العصبية الدماغية المتضمنة في الكلب الروبوتي "بابي". (أ) محفزات الاستشعار بالضغط في قدم بابي. (ب) طبقة الإدخال في الشبكة تستقبل إشارات محفزات الاستشعار بالضغط في الأقدام. (FR, FL, BR, BL) ونسخ لإشارات التحكم للمحركات، "النسخ المرجعية :copies efference " (M1 - M4). (ج) تزود الخطوط المرتدة بإتجاه معاكس

والتى تصل بين الحالات (الأسهم المنحنية) بنوع من الذاكرة قصيرة المدى الذي تكمن أهميتها في التعرف على الأنماط الزمانية - المكانية. (د) حالات الجذب متطابقة مع أنماط المشية (انظرأيضا الشكل 4. 2 في حالات الجذب). وهي حالات يمكن التعرف عليها على نحو منفصل من خلال النظام الروبوتي المستمر، ويمكن أن تظهر بوضوح بواسطة رموز مثل "السير"، و"الركض"، و"الهرولة".

إطار التوضيح 5.1

الشبكات العصبية الدماغية للسلوك المتكيف

الشبكات العصبية الدماغية هي نماذج حاسوبية مجردة للدماغ؛ تؤدي ما يسميه البعض، (الأسلوب - الدماغي الحاسوبي brain - style computation). إن الأدمغة الطبيعية لديها عدد من الخصائص المستحبة إلى درجة كبيرة وهي نافعة بصورة خاصة للكائنات التي تتفاعل مع العالم الحقيقي ــــ تلك الخصائص التي نتمنى على الأقل أن ننجز بعضا منها إلى حد ما في الأدمغة الاصطناعية، تُعرف بالشبكات العصبية الدماغية. أولا، للأدمغة قدرة عالية على تحمل الأخطاء والتشويش البياناتي، أي أنها تستمر في وظيفتها حتى لوتضررت أجزاء منها أوحتى لو كان هناك تشويش في البيانات. هذه هي الحال دائما في العالم الحقيقي: فكر فقط في "تأثير حفل ساهر" ــــ أثناء الحفلة وبينما أنت تتحدث مع شخص ما، وعلى الرغم من الضجيج فإنه يمكنك فهم ما يقول. ثانيا: الأدمغة الحيوية قادرة على التعميم أي أن باستطاعتها أن تستمر في وظيفتها حتى في مواقف لم تواجهها من قبل. ومن الصعب إعطاء الأهمية الكافية لهذه النقطة لأننا نعلم أنه لا يوجد في العالم الحقيقي الواقعي موقفين متشابهين على الإطلاق (حيث يمكنك أن تتعرف على وجه أمك بالرغم من أنها لا تبدو بالضبط على ما هي عليه لمرتين؛ فالإثارة الاستشعارية في قرنية عينك تعتمد على المسافة،

وشروط الإضاءة، حتى وإن كنت تشاهد وجهها من الأمام أو الجانب، بمساحيق تجميلية أو بدون، وبتسريحات شعر مختلفة، وغيره) ثالثا، للشبكات العصبية درجة عالية من المرونة؛ فهي تستطيع أن تتكيف مع المتغيرات التي تحدث في الكائن الحي وخلال نموه من طفل إلى شخص راشد. رابعا، الشبكات العصبية الدماغية هي أنظمة تعلم حقيقية؛ أي أنها دائما تتعلم وبالتالي فهي تحسن أدائها بذاتها (وهذه هي الخاصية التي نتوقعها من أي نظام ذكي). أخيرا، الشبكات العصبية الدماغية متوازية بشدة، فهي تعالج أنماط موزعة (مثل المحفزات التى يتم إستقبالها من الاستشعارات بطرق المختلفة) بدلا من الرموز المتقطعة. ويتضمن هذا أنها تستطيع الاستجابة لردة الفعل بسرعة فائقة، على الرغم من بطء الخلية العصبية نسبيا؛ وهذه الخاصية على وجه التحديد ضرورية لإستمرارالحركة بشكل سريع في العالم الحقيقي الواقعي.

لقد نشرت مؤلفات كثيرة عن الأنواع المختلفة للشبكات العصبية الدماغية، بيد أننا نستطيع وصفها كلها من خلال مجموعة صغيرة من الخصائص. تتألف الخلايا العصبية الاصطناعية من عقد بيانية (خلايا دماغية إصطناعية) تتصل(نموذجيا، بكثير) من العقد البيانية الأخرى من خلال مسارات اتصالية لها قيم وزنية، أو ببساطة أوزان (نقاط التشابكات العصبية الاصطناعية: the artificial synapses). إن للعقد البيانية مستوى تنشيط يُمثَّل بواسطة قيمة عددية تمثل معدل درجة إطلاق الخلية العصبية؛ أي أن الشعيرات الخلايا الدماغية تنتج عددا كل ثانية. وفي الخلايا البيولوجية فإن سرعة إطلاق شعيرات الخلايا الدماغية في الشبكات العصبية، تعبر عن شدة نشاطها. ثم باستطاعة هذه العقد البيانية أن تؤثر على مستوى نشاط بعضها البعض وذلك عن طريق تمرير إشارات إلى (المسارات الاتصالية: connections). عادة، تصبح العقده البيانية نشطة عندما يكون مجموع المدخلات التى يتم إستقبالها من العقد البيانية الأخرى مجتمعا يتجاوز حدا معينا. القيم الوزنية، تتوافق مع قوة نقاط التشابكات العصبية للمسارات

الاتصالية، وهي أيضا تمثل بواسطة قيم عددية تدل على الكيفية التى تستطيع بها الخلية العصبية التأثير على خلية أخرى متصلة بها عبر مسار إتصالي. المعرفة أو "التاريخ الشخصي" لهذه الشبكات محتواة في قوى إتصالية معينة. وهي تكتسب معرفتها بواسطة تطبيق نوع معين من قانون التعلم، والذي يوضح كيف تتغير المسارات الاتصالية، إذا أعطيت بيانات عن الحالة الراهنة والمدخلات إلى الشبكة في زمن معين. ومثال ذلك قانون هيبيان المشهور للتعلم (Hebbian learning rule)، والذي ينصّ على أن المسارات الاتصالية التى تربط الخلايا العصبية والتى تكون نشطة في ذات الزمن تكون الأقوى.

في الشبكات العصبية الدماغية المستخدمة في الروبوتات ـــ، هناك طبقة إدخال تكون الأجهزة الإستشعارية للروبوت ـــ مثل الكاميرا والشبكات العصبية أثناء ضغط الأقدام، وأجهزة استشعار الأشعة تحت الحمراء متصلة بها، وهناك واحدة أو أكثر من الطبقات العصبية الداخلية (عادة يطلق عليها، الطبقات الخفية :hidden layers)، و(طبقة الإخراج :output layer) هي التي توصل إلى محرك النظام.وتحتوي الطبقات الخفية على الكثير مما يسمى بالاتصالات المرتدة بإتجاه معاكس أو التكرارات، لذا تستطيع المحافظة على نشاطها، على سبيل المثال، لتحقيق نوع من الذاكرة قصيرة المدى. وبمعنى آخر، فإن تنشيط العقد البيانية في طبقة المخرجات ليست محكومة ومحددة فقط بمدخلات للشبكة، ولكنها تتأثر أيضا بالقيم السابقة للطبقات الخفية، أي من خلال التاريخ الحالي للشبكة. ويُستخدم تنشيط طبقة المخرجات بعد ذلك للتحكم في المحركات وبالتالي بالحركة الفعلية للروبوت. ما يدعو للمفاجئة حقاهو أنه بالرغم من التجريد الهائل الذي تم إستنباطه من الأدمغة الحقيقية، فإن الشبكات العصبية الدماغية الاصطناعية قوية جدا؛ ولذلك أصبحت معروفة لدى علماء الروبوتات، خاصة من حيث الإهتمام بالروبوتات المتكيُّفة. وعلى الرغم من أن الأدمغة الحيوية أقوى من الشبكات العصبية الدماغية الاصطناعية في نواحٍ عدة، إلا

أن للأخيرة إنجازات ونتائج مؤثرة، على سبيل المثال فيَ مجالات التعرف على الأنماط، وأجيال أنماط التحرك، والتنسيق الحركي – الحسي الاستشعاري. حرفيا هناك آلاف المؤلفات المنشورة والتي تقترح تغيرات متنوعة للشبكات العصبية الإصطناعية، بيد أنه يمكن تصنيفها إلى أربعة أصناف تقريبا (وهذا للقراء المهتمين تكنولوجياً). أولا، هناك (شبكات تقليدية إتجاه تغذية بياناتها للأمام: classical feedforward networks) حيث يكون إتجاه مساراتها الاتصالاتية فقط من المدخلات الى المخرجات؛ وهذا النوع مناسب جدا لأصناف بياناتية كبيرة، ولمشاكل التعرف على الأنماط (مثال: التعرف على ورم في صورة مسحية للدماغ). الصنف الثاني، الشبكات الديناميكية، وتتضمن المسارات الاتصالية المرتدة بإتجاه معاكس؛ هذا النوع أقرب إلى الواقع الحيوي ومطلوب للتحكم بالتحرك المتكرر (السير، أو الركض) وأيضا للتعرف على (الأنماط الدورية: cyclic patterns). بالرغم هذا النوع من الشبكات، بالرغم من أنه يعتبرمستمرا، فإن له حالات جذب من الممكن ربطها بنوع أساسي لمعالجة الرمز، كما هو موضح في هذا الباب (انظر أيضا الشكل 5.3). الفئة الثالثة، إن شعيرات الخلايا الدماغية في الشبكات العصبية أكثر حيوية لأن الخلايا العصبية ببساطة لم يعد لديها مستوى تنشيط يمثل معدل تردد شعيرات الخلايا الدماغية، ولكن بالمقابل تقذف شعيرات الخلايا الدماغية الفردية كل فترة محددة. وهذا بالطبع يزيد من طاقتها بشدة لأن المعلومات المحتواة خلال الفترات الزمنية بين شعيرات الخلايا الدماغية يمكن استغلالها أيضا. وهذا مهم، على سبيل المثال، في معالجة الكلام، حيث يشكل الزمن عاملا حاسما. أماالصنف الأخير من الشبكات ــــ وهي أيضا واقعية حيويا ــــفهي مؤسسة على النموذج العصبي، حيث أن النشاط في نقاط التشابكات العصبية الاصطناعية يتم التحكم به عن طريق جزيئات اصطناعية تعرف باسم (محول الترددات العصبية: neuromodulators). وتتحكم هذه الجزيئات عندما يجب على نقاط التشابكات العصبية الاصطناعية أن تتعلم، أي تغيير قيم أوزان

نقاط التشابكات العصبية الاصطناعية. فعلى سبيل المثال، ربما نريد أن يتعلم الروبوت فقط عندما يمسك بالزجاجة بنجاح، ولكن ليس عندما يفشل في عمل ذلك. عموما، فمحول الترددات العصبية يزيد من أهمية تكيف الشبكة العصبية.بينما الأدمغة، وجميع خلاياها العصبية التي تزيد عن مائة مليون خلية، حقا متوازية، فإن معظم التوازي في الشبكات العصبية الاصطناعية تم محكاته على المعالج المركزي المتوالي، الأمر الذي يتطلب الكثير من العمليات الحاسوبية لأن تنشيط كل خلية عصبية دماغية يجب أن يتم تحديث قيمتها، مرة تلو أخرى. ويتضمن هذا أن فائدة الموازاة للمعالجة في الزمن الحقيقي لا تحدث الأثر المطلوب: إذن هي نظرية، وليست حقيقية إن جاز التعبير. وبالرغم من أن المعالجات المركزية الحالية تتمتع بقوة هائلة إلا أن مدى السرعة الحاسوبية لا يزال قليلا حقا، خصوصا بالنسبة للروبوتات التى عليها التصرف في العالم الحقيقي. وهذا يعلل سبب كون النماذج البسيطة للشبكة العصبية الإصطناعية مفضلة لأغلب تطبيقات الروبوتات. فعلى سبيل المثال، غالبا لا تسخدم نماذج لشعيرات الخلايا الدماغية في الشبكات العصبية وذلك لأنها باهظة الثمن حاسوبيا. ولكن قد يتغير ذلك مع تطور أكبر لأجهزة الحاسوب الموازية في المستقبل. ولكن حاليا نحن مقيدون بالعمل على معالجات متتالية لإنجاز عمليات حاسوبية لنماذج شبكات متوازية. (لقد قمنا تغطية التطور التاريخي للشبكات العصبية الدماغية بإيجاز في الباب الثاني ولن نفصله هنا). لكن حتى لو كنا نملك معالجات موازية أكثر قوة، فهذا وحده لن يحل قضية تصميم الشبكات العصبية الدماغية للروبوتات، وذلك لأن الشبكات يجب دائما أن تتطور سوية مع البنية التركيبية لجسد الروبوت. على سبيل المثال، التركيز فقط على تصميم الشبكات وحدها، لن يحل مشكلة تعرف الكائن على الأجسام في العالم الحقيقي، في حين أنه ربما يقوم المنهج التطويري المجسد، كما خُطط له في هذا الباب، بذلك لأنه يسمح بالتفاعل النشط مع البيئة، وبذلك يستلزم محفزات إستشعارية ضرورية (انظر الباب الرابع).

ولكن قبل أن نتحدث عن صورة الجسم، لا يزال هناك شيء ضروري مفقود. فهذه الأنماط تمثل فقط مدخلات للمحفزات الاستشعارية، وفي الواقع فإن الكائن لا يملك أي دلالة عن كيفية تغيير هذه الأنماط وظهورها. لهذا، بالإضافة إلى بيانات إستشعار الضغط، فإن أوامر المحرك —— أي الإشارات التي تولد الحركات المترابطة —— لابد وأن تُشكل جزءا من مدخَلات الشبكة. وتسمى هذه الإشارات، (النسخ المرجعية: efference copies)، وهي مسؤلة عن تزويد الكائن بالأساسيات ليتعلم شيء ما عن الهياكل غير الرسمية ويتم تفاعله مع بيئته: أي أن أوامر المحرك تجعل الروبوت يتحرك بطريقة تولد البيانات الاستشعارية والتي تغذي بدورها طبقة الإدخال في الشبكة. وبشكل دقيق فإن هذه الهياكل غير الرسمية هي الأساس لصورة الجسم.

كل هذا أساسي وبسيط لذا، دعونا نفكر قليلا في كيف يمكننا أن ننطلق من هنا. أي كيف يمكن تحقيق سلوك ما وهذا يمكن أن نطلق عليه معالجة الرمز. فإذا افترضنا أن لدينا حالات جذب مختلفة في الشبكة، فماذا نستطيع أن نعمل بها؟ أو ماذا يستطيع الكائن أن يعمل بها؟ تخيل أنه بدل المراقب البشري، تكون هناك شبكات عصبية ديناميكية أخرى (أو أجزاء أخرى من ذات الشبكة)

"تراقب" نشاط الشبكة الأولى (هذه الفكرة مشابهة جداً لفكرة أدمغة منسكي "أ" و "ب"؛ منسكي، 1985م، Minsky). حيث تتأثر حالات الجذب لهذه الشبكات بنشاط الشبكات الأخرى التي "تراقبها" من جهة، وبديناميكيتها الذاتية من جهة أخرى. لذا، يمكن تفسير نشاط شبكات "المراقبة"، وخاصة التنقلات بين حالات الجذب، بأنه نوع بسيط جدا من "معالجة الرمز": التنقلات بين حالات الجذب في الشبكات الأولى قد تؤثر على حالة التنقلات في شبكات "المراقبة". وبالتالي فإن هذا النشاط يستطيع أن يؤثر على حركات الشبكات التي "تراقب"، ولأن هذه الشبكات تؤثر مباشرة على المحركات، فإن "معالجة الرمز" تستطيع أن تؤثر مباشرة على سلوك الروبوت: لأنها ليست فقط حالة داخلية في الكائن. وبهذه الطريقة تكون "معالجة الرمز" قد تم ترسيخها بنظام الروبوت الدماغي - الجسدي تماماً. ولقد استخدمنا علامات التنصيص هنا لنوضح أن مفهومنا في "معالجة الرمز" يختلف عن المفهوم التقليدي الذي تكون فيه هياكل الرمز واضحة ومبرمجة ضمنياً في الأنظمة.

لا يزال كل ما ذكرناه هنا تمهيدي وتخميني باعتراف الجميع، بيد أننا نشعر بأن طريق التقدم واعد وأنه

بالامكان فتح منظور جديد حول مشكلة ترسيخ الرمز و بشكل عام حول طبيعة التطور. ثم إن فصل الاتصال بين معالجة الرمز وحالات الجذب داخل الشبكات يشكل حالياً منطقة بحث نشطة في علم الروبوتات (مثال: إناموراوآخرون: Inamura et al، 2004م ؛ أوكادا وناكامورا، Okada and Nakamura، 2004م كينيوشي وآخرون، Kuniyoshi et al، 2004م).
وعلى ما يبدو فإن أحد الاحتمالات المستقبلية المثيرة هو إمكانية تقليل انحيازالمصمم فيما يجب أن تقوم به شبكات "المراقبة" والشكل الذي يجب أن تأخذه باستخدام طريقة ما شبيهة باللوغارتم التطوري.

قبل أن نعرض كيفية استخدام هذه الأفكار لنعالج مشكلة ترسيخ الرمز، ربما علينا إعطاء بعض الملاحظات الأخيرة عن صورة الجسم. وعلى الرغم من أننا نعتقد بأن هذا منهج واعد، إلا أنه يجب علينا أن نبقى حذرين لأن ما قدمناه لايتجاوز خدشنا للسطح فقط مقارنة بتعقيد الأنظمة الحيوية. كما أنه يجب التوسع أكثر في الفكرة الأساسية التي قـُدمت إلى الآن لصورة الجسد حتى تشمل العوامل الإضافية مثل المعلومات الواضحة أو الضمنية عن هندسة الجسم، و شكل الأطراف، ومواضع الاستشعار، ومراكز التشغيل، وربما معلومات عن

فيزيائية الجسم. وبالرغم من بساطة دراسة حالة الكلب الروبوتي بابي فإننا نشعر بأنه يقدم احتمالات هائلة لمساعدتنا على فهم كيف يحدث الإدراك (الحقيقي)، وأيضا يوضح مفهوم صورة الجسد. هنا تظهر الفائدة الهامة لعلم المنهج التركيبي بصورة جلية وهي أننا نستطيع دائما تحديد ما نتكلم عنه بدقة. وبهذا استحوذت فكرة كيفية بناء صورة الجسم بسبب أهميتها المركزية على اهتمام الباحثين في علم الروبوتات التطويرية (مثل ؛ Yoshikawa et al ،يوشيكاوا وآخرون، 2004م Kuniyoshi et al). ،كيونيوشي وآخرون، 2004م

دعونا نعود الأن إلى مشكلة ترسيخ الرمز.

5.5 مشكلة ترسيخ الرمز (The Symbol Grounding Problem)

منذ منتصف الثمانينات ومشكلة ترسيخ الرمز تشغل حيزا كبيرا في مجال قضايا مناقشات مجال الذكاء الإصطناعي وفي مجال العلوم الإدراكية، لكنها بقيت دون حل. وبناء على مفهوم العالم النفساني ستيفن هارند فإن مشكلة ترسيخ الرمز تجيب ،(Stevan Harnad) على السؤال الذي يدور حول كيف أن التفسير الدلالي في نظام رمزي رسمي] يستطيع [جعله "جوهريا" للنظام، بدلاً من كونه طفيلياً معتمداً فقط على المعاني الموجودة

هذه الفكرة .(Harnad ،في أذهاننا (هارند، 1990م يمكن إعادة صياغتها كالتالي: كيف تستطيع الرموز الفردية و تراكيب الرموز إكساب المعنى للكائن (من ذاته أو ذاتها) بدلا من مساعدة المراقب الخارجي؟ من أمثلة :تراكيب الرموز: (القوانين المنطقية الإستدلالية مثل " كل البشر (logical rules of inference يموتون، ومادام أرسطو بشرا، إذن فأرسطوكذلك يموت"، وأيضا التراكيب النحوية مثل "هارند كتب مقالة مهمة عن مشكلة ترسيخ الرمز." هذه الأمثلة تحتوي على رموز ذات دلائل معنوية مثل "يموت"، "أرسطو"، "هارند" و "مقالة"".

هناك مقدارً كبيرً من المؤلفات في الفلسفة و علم اللغويات التي تتحدث عن "المعنى." علماً بأن طريقة استخدامنا للكلمة هنا عملية جداً: إذا كان الكائن قادراً على استغلال حوافزه الحسية بطريقة تخدم أهدافه، مثل الركض أو الحصول على الطعام، فيمكن الإعتبار بأنه قد فهم معنى هذا الحافز الحسي. فعلى سبيل المثال، وكما ناقشنا سابقا، يمكن أن يستخدم بابي أنماط الضغط من خلال الحافز الحسي، مع إشارات التحكم الصادرة من المشغلات، ليتعرف على المشية وينتجها أيضا. أو إذا كان الضفدع قادر على اصطياد حشرة بلسانه، وذلك على

أساس الإشارات التي تستقبلها الأعصاب الدماغية من الحركة البصرية إثر أكتشافها في الشبكية، فان لدى الضفدع إلى حد ما " فهم" لمعنى "اصطياد ذبابة". و حقيقة أنها ربما لا تدرك هذه المعرفة لا يدل بالضرورة على أنه ليس هناك معنى مرتبط بهذا الفعل: يساعد الضفدع من البقاء على قيد الحياة. لذلك فلربماً نريد أن نربط هذه الأنماط للمحفزات العصبية مع الرموز، لأنها تنشأ بصورة طبيعية غير عشوائية من حركة الكائن، يمكننا القول بأنها راسخة بالكامل.

وفي نظم الذكاء الاصطناعي التقليدي، يظهر معنى الرموز من طريقة علاقاتها بالرموز الأخرى. ولكن هذا مشكوك فيه، إذا كان يمكننا اعتباره معنى في المقام الأول، لأنه لا يأخذ في الاعتبار علاقة معنى هذا الرمز بالعالم الخارجي بأي طريقة: حيث تتشكل العلاقة فقط بين الرموز. و أيضاً في النظم التقليدية، بما في ذلك الأنظمة الخبيرة، فإن معاني الرموز تعطي من قبل ملاحظ خارجي، غالباً ما يكون هو المستخدم. والأنظمة ذاتها ليس لديها "معرفة" عن هذه العلاقات. دعونا نفصل هذه النقطة أكثر.

تحتوي الأنظمة الخبيرة عادة على قوانين منطقية (رمزية) إستدلالية، ومثال على ذلك "إذا كان المريض

فوق 16 سنة من العمر، وكان عدد خلايا الدم البيضاء أقل من 2000 خلية، ولدى المريض حمى عالية، عندئذ فإن الكائن الحي الذي يسبب العدوى يحتمل أن يكون 12 بإحتمال 0.7)." الآن ضع في الاعتبار فكرة)org - التجربة التالية، المستوحاة من الكتاب الغني بالمعلومات للمتخصص في علم الإدراك بيل كلانسي (Bill Clancey) بعنوان (الادراك البيئي التفاعلي:Situated Cognition). فإذا استبدلنا جميع أسماء المتغيرات في القانون السابق بمسميات أخرى مثل س1، س2، س3 وهكذا، عندئذ نستطيع التصريح، بأن أهمية وظيفة اللوغاريتمات في هذا النظام الجديد (أوبمعنى آخر، النتيجة التى يمكن الوصول اليها) تكون مكافئة لتلك المصطلحات التى لها معنى في النظام. لكن القانون الجديد سيقرأ إذا " س1و س2و س3، إذاً س4 تكون 0.7".والتعرف على مجموعة من القوانين المماثلة كخبرات على مستوى الخبرة الانسانية يبدو بعيد المنال. وفي الواقع، إن هذا النظام ببساطة يطبق مجموعة من القوانين المنطقية و هو في حد ذاته ليس به أي قاعدة معرفية طبية مطلقا؛. والمعنى يمكن فقط أن ينسب إلى المتغيرات بناء على المستخدم أو المستخدمة: فهو الذي يشكل العلاقة مع العالم الخارجي (بمعنى أخر،

ترسيخ المعنى للرمز)، وليس نظام الخبرة ذاته. وبالتالي، للحصول على ترسيخ حقيقي للمعنى، ليس كافيا أن يكون لدينا نظام من القوانين المنطقية الإستدلالية فقط التي تؤدي بعض العمليات الداخلية. فإذا أردنا نظاما يولد معانيه الخاصة به، يجب أن نخرج الإنسان خارج الحلقة حتى نجبر النظام على التفاعل مع العالم الحقيقي بذاته. وهذا أحد أهم الأسباب التي جعلت الباحثين في علم الذكاء الاصطناعي يعملون على الأنظمة المستقلة ذاتيا في المقام الأول. ومن خلال دراسة حالة الكلب الروبوتي بابي، حاولنا تقديم تصور لإمكانية إيجاد هذه الصلة بين الروبوت و العالم الخارجي.

يستند كل خط التفكير الذي عرضناه حالا على فكرة واحدة مهمة، وهي أن الروبوت ذاته لابد أن تكون له طبيعة حركية ديناميكية عالية جدا عندما يتفاعل مع البيئة. وسنبحث هذا الموضوع في الفقرة التالية.

5.6 التنسيق بين ديناميكيات العقل والجسم:

في المراحل الأولى من الذكاء الاصطناعي المجسد، عمل الكثيرون بإقتناع على مواضيع التنقيب و التوجيه حيث أن الحركة والتوجيه هي القوى المحركة الحقيقية في تطوير الإدراك وأيضا في تطور الدماغ. ولقد عزز هذا (Daniel Wolpert) عالم الأعصاب دانيال ولبرت

التوجه بسؤاله: لماذا لا تمتلك النباتات أدمغة؟ لقد أجاب بأن الجواب بسيط جدا وأن النباتات في واقع الأمر ليس من الضروري لها أن تتحرك! فبعد "التحول نحو التجسيد: turn embodied "، بدأ الباحثون بإجراء التجارب على الروبوتات، لأنها موجودة ومن السهل إستخدامها، فأختاروا الروبوتات ذات العجلات. وبينما كان هناك الكثير من التقدم على مستوى الأبحاث (فقد أُجبِر الباحثون على التعامل مع مشاكل العالم الحقيقي مثل الضجيج، وعدم الدقة، والتغير، وعدم امكانية التنبؤ)، بالإضافة إلى وجود بعض المشاكل الأساسية الموروثة من المنهج التجريبي. تذكر أن أحد منظورات مبدأ التوازن البيئى هو توافق مستويات التعقيد في الأنظمة من الناحية الحسية والإستشعارية والحركية والعصبية.

إجمالا فإن الروبوتات ذوات العجلات لديها فقط بضع درجات من الحرية في نظام حركتها: عادة لديها محركان، واحدً لكل عجلة، تُمكِّن الروبوت على الحركة حول سطح مستوٍ. وحيث أنه من السهل وضع كاميرا ذات وضوحية عاليةً على الروبوت، ولأن الروبوتات ذوات العجلات بسيطة جدا، فإن العديد من التصاميم التجرييبية كانت غير متوازنة: الأنظمة الحسية المعقدة، والأنظمة الحركية بسيطة جدا. نتيجة لهذه التصاميم غير المتوازنة،

أصبحت لدى النظام ديناميكيات فيزيائية غير مهمة نسبيا: لا يهم كيف استخدمت بيانات الكاميرا، أو أي لوغاريتم تَحكُّم تم تطبيقه، اذ لايزال الروبوت يقاد على أرض مستوية. ومع أن بعض اللوغاريتمات (مستلهمة حيويا: biologically inspired)، إلا أنها كانت اعتباطية فيما يتعلق بحركة الروبوت الذاتية، مما أدى إلى إستبدال لوغاريتم بآخر لضمان تحقيق السلوك ذاته. وقد كان هناك شيء أساسي مفقود، وهناك أدلة قوية على أن هذا الشيء المفقود هو نظام حركي - حسي معقد وغني ديناميكياً. نقصد بقولنا (غني ديناميكياً: rich dynamics) أن للنظام درجات عديدة من الحرية تساعده على التحرك في طرق لاتحصى متعددة الإختلافات. فقط، الروبوتات ذوات العجلتين والتي بدون أذرع ليس لديها غني دينامكي، على عكس الروبوتات المعقدة شبه البشرية ذات الأذرع، والأرجل، و الأيدي. و مثال على روبوتً غنيً دينامكياَ (وهي (Kenta) كينتا: كلمة يابانية تعنى "الولد ذو الأوتار tendon boy")، والذي طوره هوأحد قادة البحث في علم الروبوتات شبه البشرية، المعروف بإسم ماسيوكي آنابا (Masayuki Inaba) من جامعة طوكيو (مثال Yoshikai et al.، يوشيكا وآخرون، 2003م).

بالمقارنة مع الروبوتات شبه البشرية الأخرى، كينتا به قطع عمودية مرنة، ومجموعة من الأوتار تسمح له بالتحرك بطرق عديدة. وهكذا فإن كينتا يمكنه أن ينجز غِناً ديناميكياً حقيقياً.

لشرح النتيجة التي يصل إليها هذا الفصل التي تبدو متناقضة بخصوص الديناميكية الحركية - الحسية المعقدة كمتطلب سابق لوجود إدراك عالي المستوى، دعونا نبحث في دراسة حالة أخرى. الجرذان حيوانات مذهلة: فهي فاتنة، و مضحكة، و ذكية، وفضولية؛ ويمكنها السباحة، والتسلق، والقفز، وتحريك الأجسام؛ ويمكنها التعلم، والسلوك بطرق توضح أنها ذكية. ولديها أيضا قدرات تكُّيف وتوجيه استثنائية. وإن تَعلُّم السير في متاهة هو فقط أحد المهام التي تجيدها. هذه القدرات المذهلة ــــ بالإضافة إلى حقيقة أنه يمكننا تنميتها والتعامل معها بيسر في المختبر ــــ هوأحد الأسباب التي جعلت الجرذان موضوعا لعدد كبير من الأبحاث في علم النفس و(علم الأعصاب الدماغية السلوكي: behavioral neuroscience).

ولقد كان اكتشاف خلايا المكان وخلايا توجه الرأس (اوكيف و ديترو فيسكي، 1971م O'Keefe and Dostrovsky) حدثا مهما في سبيل شرح مهاراتها

التنقيبية. وعندما وُضعت الجرذان في مواقع معينه في الميدان، نشطت بعض مجموعات الخلايا في منطقة تعرف بإسم hippocampus (وهي منطقه في فلقه من الدماغ يعتقد أنها تقوم بدور مهم في تشكيل الذاكرة طويلة الأمد). وعندما يتحرك الجرذ إلى مكان آخر، مجموعه أخرى من الخلايا — من فئة "خلايا المكان" — تُطْلَق. وتدُلُنا هذه الظاهرة على وجود مجموعات مختلفة من الخلايا كل منها مقترن بأماكن مختلفة في بيئة الجرذان. وبالتعاون مع (خلايا اتجاه الرأس head - direction cells وهي خلايا تُطلق فقط عندما يوجه الجرذ رأسه في اتجاه معين، يتم تزود الجرذان بتمثيل واضح مميز، أو خريطة. وهذه المجموعات من الخلايا تفسر ولو جزئيا، على الأقل، القدرات التنقيبية الغريبة للجرذان (بيست وآخرون، 2001 م Best et al).

في تجارب الروبوت التي يقلد فيها سلوك الجرذان بناء على إحساسه بالمكان وخلايا اتجاه رأسه، من المألوف أن يُستخدم روبوتاً ذو العجلات مثل الروبوت خيبرا، الذي لديه كاميرا دائرية الاتجاهات (كاميرا ذات 360 حقل مرئي). وعادةً تستخدم الكاميرات الدائرية الاتجاهات للتعامل مع حقيقة أن القوارض لديها تقريباَ

رؤية دائرية متعددة الاتجاهات. إن ميزة استخدام الروبوتات أنها تعمل في ذات البيئة التى يعيش فيها الجرذان، يمكنها تقريبا من التعامل بذات المحفزات الإستشعارية البصرية. أما عدم فائدة استخدام الروبوت ذو العجلات فهي وجود العجلات التى لها ديناميكية بسيطة و مختلفة تماماً عن قدرات الجرذان البيولوجي، وكما ناقشنا سابقاَ، ليس هناك أي قيود على تحكم أسلوب بناء الروبوت. وبهذا المفهوم، فالروبوت هو الحاسوب أساساَ، ويمكن أن يُبَرمج عشوائياً. مثلاً، يمكن أن يُبرمج بآلاف النماذج المفصلة والغنية بالمعلومات عن خلايا الأماكن و اتجاه الرأس. وعلى هذا الاعتبار فإن الروبوتات التي لديها مكونات حاسوبية معقدة ولكن لها أجسام بسيطة يكون لديها تذوق إدراكي مؤكد. وقد يبدو هذا متناقضا: فمن جهة يعتبر نظام تحكم الروبوت مستلهم حيوياً، لكنه من جهة أخرى يبقى غير راسخً ولا أساس له لأن جهاز التحكم لا يتوافق مع ديناميكية جسد الروبوت. ولكي نضيف تحقيقاً لنماذج الروبوت، يجب أن نأخذ في الاعتبار المهارات الحركية - الحسية المعقدة للحيوان الذي يُصمم نموذج له، وحيث أن لهذا الغرض ديناميكية معقدة ـــ ناتجة من جسدً أكثر تعقيداً ـــ فإن ذلك سيكون متطلباً أساسياً. فعلى سبيل المثال: فإن الجرذ

يمكن أن يحرك رأسه (وبالتالي نظام الإبصار لديه) بشكل مستقل عن جسده (ولكن الربوت خيبرا لا يمكنه ذلك)، وهذا وضع يتعلق بحالة الهيئة البنيوية والتى في الحقيقية من الممكن أن تلعب دوراً في تطورخلايا المكان واتجاه الرأس.

لكن الجرذان يمكن أن تقوم بما هو أكثر من الحركة فقط. لذا، من الواضح، أن هناك سلوكيات أخرى ضرورية لبناء صور أجسامهم وإدراكهم. ومثال ذلك، فنحن بحاجة إلى إيضاح الفروق في العالم الحقيقي، أي يجب أن يكون لديها القدرة على التصنيف. هناك العديد من التجارب التى برهنت أن التصنيف يعتمد على تناسق الأحداث الحركية - الحسية مثل النظر نحو الأجسام أثناء الحركة (التوضيح الشبكي المركزي)، والإمساك بالأشياء، والإشارة، واللمس، وتحريك الأصابع (أو الشوارب!) على سطح أو حافة، وغيره. و تشمل صورة الجسم (ضمنيا عادة) معرفة عن التفاعل بين الأنظمة الحركية والأنظمة الحسية المختلفة. فمثلا، عندما تمسك جسما وترفعه، فإنه ينشط التحفيز الإستشعاري المتزامن بين الإحساس بالضغط في يدك والإحساس البصري في الشبكية، يحدث ذلك سويا مع: proprioceptive (الإستشعارات الذاتية مثل مستشعرات القوة في عضلاتك، التي (sensors

تعطيك معلومات ليس فقط عن الجسم لكن أيضا عن الكيفية التى تعمل بها يدك و ذراعك.إذنً يمكننا القول بأن الإستتشعارات الذاتية مهمة لصورة الجسم.

مرة أخرى، لا ينبغي أن تكون صورة الجسم رمزية أو بدون شعور، ولابد أن تكون استمرارية، غير متقطعة. لكن من خلال هذا النظام الديناميكي، الذي يحتوي على الأنظمة الحركية، والحسية، والعصبية وكذلك البيئية، كما سيكون هناك العديد من حالات الجذب التي أيضاً تشكل جزءا من صورة الجسم. تخيل أن الروبوت يمسك جسماً ويرفعه إلى أعلى. وكما هو الحال مع الإنسان، فإن هذا السلوك الإستتشعاري سيتم متزامناً، اذ سينشط كلا من إستتشعارات اللمس في اليد، وإستتشعارات القوة على المشغلات، وهذه المحفزات الإستتشعارية هي نتيجة طريقة المحركات والمشغلات. وهذا سوف يحدث حالة جذب تسمح للروبوت أن "يفهم"، بمعنى أن هناك علاقة سببية بين الاشارات الحركية، والنشاط العضلي (الذاتي)، والتحفيز الحسي.

5.7 إتساع الأفق: جوانب أخرى من التطوير:

كما ذكر في بداية الفصل، إن الهدف المطلق من علم الروبوتات التطويري هو تنمية روبوت ليصبح كائنا راشدا ذكيا إبتداء من نقطة الصفر. و كما رأينا منذ برهة

في نقاشنا عن الكلب الروبوتي بابي، فإن العمليات الحركية - الحسية سوف تلعب دوراً أساسيا في هذه المهنة. بيد أن، علم الروبوتات التطويرية قد حدد عدة موضوعات جوهرية أخرى تشكل جزءا من عملية التطوير. وكما سنرى، تقود هذه المسائل، بالاضافة الى دراسة حالة بابي، إلى عدد من مبادئ التصميم التي تطبق بالتحديد على الأنظمة التطويرية. و سوف نبحث في بقية هذا الفصل هذه المسائل و نناقش الدور الذي تلعبه عندما ننتقل من الحركة إلى الإدراك ——، أو عموماً، من سلوكيات حركية - حسية إلى الذكاء. لازالت صور البحث في هذا المجال محيرة جداً، وهناك الكثير من الاتجاهات البحثية المثيرة التي هي بحاجة إلى مزيد من التنقيب.. لقد أظهر النهج التطويري عددا كبيراً من المسائل المحيرة والتي ليس لها أي حلول حقيقية في الوقت الحالي. بيد أن، هناك الكثير من الأفكار الواعدة و المثيرة.

ينمو الكائن الحي من طفلً إلى راشدً، وأثناء هذا التطور يتغير شكله ويتعلم الكثير من الأشياء. وحتى وقتنا الحالي، وبالتقنية المتوفرة لا نستطيع أن نُنَمِّي الأنظمة الاصطناعية، وهكذا فإن النمو لا يمكن نمذجته في الروبوتات. لكن مطوري الروبوتات اقترحوا بعض الطرق

الشيِّقة لحل هذه المعضلة. على سبيل المثال، ماكس لونغريلا، الذي ذكرناه سابقا، بدأ بروبوت مجهز بأنظمة حركية عالية الدقة وأنظمة استشعارية عالية الوضوح، ولكن في بداية هذه التجربة المحددة، استُخدِمَت برامج حاسوبية لمحاكاة الدقة والوضوحية المنخفضة غيرالمتقدمة. إن الحركة المنخفضة الدقة يمكن تحقيقها ببساطة بتثبيت بعض درجات الحرية، مثل الرُّكَب، أو بإضافة أعداد عشوائية – غير مصنفة وبها تشويش معلوماتي – لإشارات التحكم بالمفاصل. يمكن أن تحقق الوضوحية المنخفضة الإستشعارية في (الكاميرا ذات الوضوحية العالية: high - resolution camera) من البرامج ببساطة من خلال حساب متوسط أصغر منطقة مستطيل متجاورة في شاشة الكاميرا. ومع مرور الزمن، إزدادت كل من الدقة والوضوحية. وبالتالي قلَّدت نوع التجسيد المتطور: وبمعنى، أن الجسد تغير ونضج الى صورة اكثر رشداً.

تجربة لونغريلا هي واحدة من المحاولات الحديثة للإجابة على ما يعرف (بمشكلة برنستين: Bernstein's problem)، وهي عبارة عن كيف يستطيع الكائن وبدرجات كثيرة من الحرية أن يتعلم

التحكم بجسمه (برنستين، 1967م). بالطبع، لكي تحصل هذه المعالجة، فإن التجربة ستتطلب وقتا طويلا.

التطوير عبر الزمان:

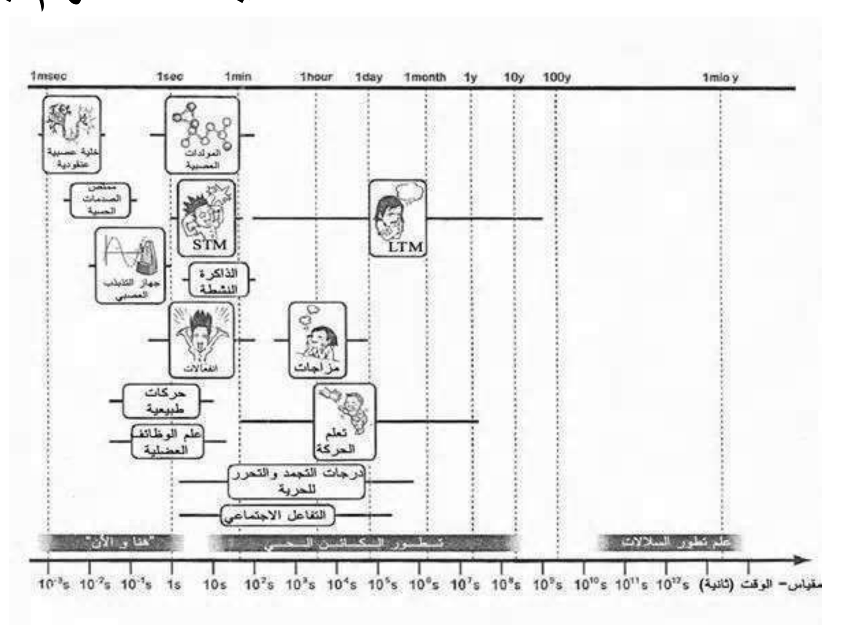
التطوير هي عملية طويلة الأجل، وتتطلب من الإنسان على الأقل، سنوات عديدة. وحتى ندرس التطوير على المدى - البعيد نحتاج لروبوتات قادرة على التفاعل مع العالم الحقيقي عبر فترات زمنية طويلة. إن الروبوتات الموجودة حالياً ليست سريعة وقوية ولا تمتلك كفاءة ذاتية لفعل ذلك. ويتطلب تطوير الكائن الحي البيولوجي مقاييس زمنية مختلفة ليتكامل اندماج المكونات، من زمن تشغيل الخلايا العصبية (حوالي 10 إلى 100 ملي ثانية) إلى ذاكرة قصيرة الأمد (من ثواني إلى دقائق)، فلذاكرة طويلة الأمد (من دقائق إلى سنوات) وتعلم المهارات الحركية مثل الإمساك، أو السير أو تحريك الأدوات المعقدة. وهذا يمكن أن يستغرق أسابيع، أو أشهر، أو حتى سنوات (انظر الشكل 4.5). فقط تأمل كم من الزمن يستغرق لإحتراف العزف على آلة موسيقية.

يصاب الباحثون في العادة بالإحباط لأن التعلم يأخذ زمناً طويلاً في تجاربهم. لكن يمكن أيضاً أن يأخذ التعلم لدى الأطفال زمناً طويلاً جداً. عندما يتعلم الأطفال السير، فإنهم حرفياً يسقطون ألآف المرات قبل أن يتمكنوا من

السير بشكل متماسك. وهذا سبب آخر يُفسِّر أن تجارب التعلم بعيدة المدى في الروبوتات نادرة جداً؛ فتقنية الروبوت ببساطة ليست جاهزة لذلك النوع من التآكل و التلف. وتُؤَدَى تجارب التعلم اليوم على الروبوتات بشكل خاص تقريباً على فترات زمنية قصيرة جداً. ويتطلب الروبوت نوعاً واحدا من المهارة، مثل إمتداد الجسد والإمساك بكأس، أو تعلم ركل كرة نحو الهدف، وبعد ذلك تتوقف التجربة. القليل جدا من البحوث تبين كيف يستخدم الروبوت مهارات مكتسبة سابقة ليتعلم مهارات حديثة. ولكن ما الغرض من تعلم الإمساك بجسم إذا لم تتعلم أن تفعل شيئاً مفيدا به؟ هناك استثناء واحد تقريبا وهو تجربة (الرؤوس الناطقة للوك ستيل Luc Steels's Talking Heads:)، التي حدثت خلال بضعة أشهر والتي سنناقشها باختصار لاحقاً. وحيث أن تعلم الكائن البيولوجي يتطلب زمناً طويلاً، فإن اختبارات الأمد القصير على الروبوتات لا تساعد في توضيح الغموض الكامن. وبالرغم من أن أشكال التعلم الطبيعية بعيدة عن الكمال، الا أنها أثبتت طبعاً أنها مفيدة جداً في العالم الحقيقي.

هناك تحدٍ آخر للتجارب طويلة المدى: الدافع. إذا أردنا أن نطبق النهج التطويري على الروبوت الذي يلعب الناي

على سبيل المثال، يجب أن لا (WF - 4) المعروف بإسم يكون لدى الروبوت فقط العديد من درجات الحرية في اليد و في الفم، ولكن يجب أن يكون لديه أيضاً حافز ليستخدمهم بطريقة ما.



الشكل 5.4

المدى الزمني في سلوك الإنسان. المدى الزمني من قصير جد اً(يُقاس بالملِّي), لنظام الأعصاب و الحركة السريعة, يصل إلى ثواني للذاكرة قصيرة وإلى دقائق وساعات للمزاجات و للحركة من مكان (STM), -المدى لأخر,وإلى أيام, وشهور, وسنوات للتطوير الجيني و للذاكرة طويلة - وإلى عقود، وقرون, وملايين السنين لعملية تطُّورالسلالات,(LTM)المدى العرقية. تحتاج العديد من هذه القياسات الزمنية أن تدمج لإنسان يعيش في العالم الحقيقي.

علينا الآن التساؤل عن الحركات المسؤولة لتحفيز الدافع؟ ولنمعن النظر في اثنين منها: تقنية هيبيان (Hebbian) للتعلم: و (المنظِمَات) العصبية

إنه ليس من النادر أن يصمم neuromodulators). نظام عصبي يعمل بناء على تقنية هيبيان للتعلم، وهي تقنية عبارة عن جهاز عصبي مستلهمة بيولوجياً، تكون فيها الإتصالات بين الخلايا العصبية التى تطلق المعلومات بشكل متزامن. (هيب، Hebb,1949م). الخلاصة الشائعة لأسلوب تعلم هيبيان هي "أن الخلايا العصبية التي تطلق المعلومات بشكل متزامن تكون متصلة ببعضها البعض". بمعنى أخر، يشكل أسلوب تعلم هيبيان علاقات واضحة بين ترابط نشاط الخلايا العصبية. لكن يجب أن نضع في الاعتبار أن الباحثين الذين وضعوا أسلوب تعلم هيبيان ضمن نظمهم يفترضون أن علاقات الترابط تمثل قيمة للكائن. إذا كان الروبوت معد بأسلوب تعلم هيبيان، فهو لا يريد أن يربط علاقات ولكنه فقط يؤدي ذلك العمل. وقد تبين أن إختيار الارتباطات مفيد جداً خصوصاً لأنه يحدث من خلال تنسيق السلوك الحركي - و - الحسي، وتستنبط الارتباطات، كما هو ملخص في مبدأ التناسق الحركي - الحسي (انظر، مثال لونغريلا وآخرون، Lungarella et al، تحت الطباعة الذي يقدم تحليلا كميا مبنيا على أفكار أساسية من تونوني ووآخرون، Tononi et al.)، [1994, 1996]. بكلمات أخرى، غالباً ما تدل هذه الارتباطات إلى بنية

تحتية ضمنية: مثل النشاط الاستشعاري لمحاكاة كل من إستشعارات القوة في العضلات واستشعارات الضغط في اليد التي تولدت عن فعل الإمساك بالجسم.

ثانيا، تعتمد الحركة على المنظمات العصبية، وهي ذرات في الدماغ تؤثر على مرونتها، وما يهمنا هو ما مدى سهولة تغير تركيب الأعصاب - أو كيف تتغير قليلا – فتؤثر على آدائها واستجابتها للإشارات المستقبلة. إذن من هذا المنظور توفر لنا المنظمات العصبية نوعاً لقيمة النظام لأنها تشير للكائن الحي بأن الوقت الآن جيد، أوغير جيد للتعلم. ويمكن أن ننظر إلى المنظمات العصبية كمؤشرات للعلاقات، التي تخبر الكائن الحي متى قد يطرأ حادثً ذو أهمية بالنسبة له. وهذا يساعد الكائن الحي على تعلم الأحداث المهمة وإهمال الاحداث غير المهمة.

هناك سؤال مهم آخر نريد أن نتطرق إليه وهو ما الذي يدفع الكائن الحي لإنجاز مهام أكثر تعقيداً. يقترح لوك ستيل و مجموعته في مختبر سوني لعلم الكمبيوتر في باريس أنه ربما يكون كافياً أن يزود الكائن بمبدأ واحد للتحفيز، وسمي هذا بمبدأ اوتوتيلك (autotelic principle) (ستيلز، Steels، 2004م). فقد استلهم ستيلز فكرته من عالم النفس مهالي كسكسزينتتيهالي مؤلف كتاب، (Mihalyi Csikszentmihalyi)

التدفق: تجربة علم النفس المثلى(: Flow: The Psychology of Optimal Experience)، الذي انتشرت أفكاره وأصبحت له مكانة مرموقة منذ أن نشرت في عام 1990م. والتدفق هو نوع من الشعور جربه جميع أنواع الخبراء، سواء كانوا جراحين، أو متسلقي الجبال، أومؤلفين، أورياضيين، أوحرفيين، أينما كانوا يؤدون أنشطتهم وخبراتهم بصورة جيدة. أو باستخدام كلمات الحكيم الصيني شونغ تزو (Chuang Tzu): " يتوقف الإدراك و الفهم، لتتحرك الروح حيث تشاء. توقف عن "التفكير" وافعل فقط". ما يثير الاهتمام، في هذه الفكرة، بالرغم أنها خيالية نوعا ما، أنها كانت أيضاً شائعة جداً في مجتمع الذكاء الاصطناعي التقليدي في منتصف الثمانينات، حيث كانت أفكار كسكسزينتميهالي تستخدم لوصف طبيعة الخبرة الإنسانية.

عندما تطبق فكرة "التدفق: flow" على التحفيز، فإن ذلك يعني، بالقياس، إبقاء المعلومات متدفقة بشكل ثابت في النظام. وإذا أتقن الكائن الحي مهارة واحدة، فإن مطالبه الأخرى سوف تتضائل وعندها سيكون حراً في استخدام استراتيجيات إستكشافية لديه ليزيد من تدفق المعلومات. تخيل، مثلاً، روبوتاً يتعلم أن يشرب من كأس.

أولاً، يجب أن يكون قادراً على مد جسده ليصل نحو الجسم المراد الإمساك به، وهذا مبدئياً يتطلب جميع قدرات التعلم لديه. وبعد مرور الوقت، سوف تصبح هذه التحركات اتوماتيكية، وبالتالي ستتحرر مصادر التعلم، وعند نقطة معينة ستكتشف البيئة بإستخدام درجات الحرية الإضافية في اليد التي لم يتم إستخدامها سابقاً للامساك بالجسم. ولكن لو استخدم الكائن جميع درجات الحرية الموجودة باليد منذ البداية، سيتراكم لديه فيض من المعلومات فلا يتمكن من التعلم كيفية مد جسده ليصل نحو الجسم المراد أو أن يمسك بذلك الجسم، أو حتى يفعل ذلك كان سيستغرق زمنا أطول في التعلم. هذه الفكرة من التدفق هي حالة أخرى من الإستجابه - و - الإختلاف: يمكن لكائن أن يستغل السلوك الذي تم تعلمه مسبقاً ليستكشف ــــ وفي الختام سيتعلم ــــ سلوكاً جديداً. بمعنى أخر، كلما تعلم الكائن الحي مهارات أكثر، كلما انغمس بسهولة في الأفعال الاستكشافية. واخيراً نستطيع أن نقول أن التدفق معقول بديهياً لكنه صعب القياس في نظام مجسد معقد؛ وكيفية إحتساب تأثير ذلك كمياً يبقى تساؤلابحثيا ذا أهمية.

5.8 التعلم في النظم المجسدة:(Learning in Embodied Systems Learning in

Embodied Systems)
دعونا نستعرض الآن مثالاً يربط الأفكار التي طرحناها حول: complexity building up) (تراكم التعقيد
كما ناقشنا سابقا عن الكيفية التي تقودنا بها السلوكيات الحركية - الحسية الى مرحلة الإدراك.وبدقة أكثر، سيوضح المثال التالي كيف تقودنا النظم المجسدة لاكتشاف يُسهِّل طريقة التعلم. إفترض لعدة دقائق، من أجل النقاش، أن استراتيجية استكشاف عقل الطفل عشوائياً تحفزعضلات ذراعية. وبالرغم من أن الإشارات العصبية قد تكون أكثر أو أقل عشوائية، إلا أن نتيجة حركات الذراع ستكون بعيدة عن العشوائية لأن الذراع مقيد تماما بتركيبته البنيوية— وتشريحه — وأيضا بخصائص المواد المكونة لنظامه العضلي – الوتري. فعلى سبيل المثال، سيتحرك الذراع في أغلب الاحتمالات للأمام مع تأرجح اليد باتجاه الجزء الأمامي من البدن، مما يجعل راحة اليد اليمنى أثناء حركة الذراع الإهتزازية تقابل راحة اليد اليسرى، وهكذا.
بهذه الطريقة، بينما تتحرك الذراع نحو الأمام، هناك احتمال أكبر أن تصطدم راحة اليد بدلا من ظهرها لتلامس الجسم القريب من الطفل أثناء حركة الذراع للأمام (وإذا كان الطفل أصغر من العمر المعين، فإنه ببساطة يلامس

الجسم بدون حدوث آثار مترتبة على ذلك باستثناء أن الجسم قد ينقلب فقط أثناء ضربة). ومجدداً على سبيل النقاش، افترض بأن يد الطفل مجهزة بماسك انعكاسي يجعل الطفل يمسك بالجسم فور تحفيز الإستشعارات براحة يده. فإذا أمسك الطفل فعلاً بالجسم، فإن أطراف أصابعه سوف تكون على اتصال مع الجسم. وعندها تتولد محفزات استشعارية حسية عالية الدقة لأن أطراف أصابعنا تحتوي على استشعارات عالية الحس، أكثر وأكثف من تلك المحفزات الإستشعارية الحسية الموجودة في ظهر اليد. لاحظ أن تلك هي خاصية تركيبية بنيوية – الخاصية الفيزيائية للعضو – ولكنها تؤثر بشدة في نوع المحفز الاستشعاري الحسي الذي يتم إنتاجه.

لنكمل القصة: لأن الذراع ذات نزعة للتأرجح نحو الأمام، فإن يد الطفل– وكذلك الجسم الذي تم لمسه– ستدخل ضمن نطاق إبصار الطفل، وبهذا سيتمكن الطفل من رؤية الجسم إضافة إلى إحساسه بهذا الجسم. و أغلب الاحتمال سيؤول مصير الجسم إلى (أو في) فم الطفل، لأن التأرجح الأمامي للذراع سوف يؤدي إلى أن تقترب يد الطفل نحو فمه. وهكذا سوف ينتج محفز استشعاري إضافي عند ملامسة الجسم لشفاه أو لسان الطفل. و جميع هذه المحفزات الاستشعارية تترابط بحيث يسهل

على الطفل تشكيل العلاقة الذهنية المناسبة بين الإشارات المنتجة من مختلف القنوات الحسية المستخدمة: المحفزات المترابطة لإستشعارات قوة الذراع، لإستشعارات اللمس في راحة اليد، وأطراف الأصابع، والشفاه، والعينان، وحليمات التذوق في اللسان التي توفر معلومات ليس فقط حول شكل جسم الطفل ذاته بل أيضاً تضيف معلومات عن لون وشكل وملمس، ووزن، و طعم الجسم الملموس. و كل هذا نتيجة أساسية لاشارات عشوائية و مجموعة ردود أفعال انعكاسية بسيطة.

إن نتائج معامل الإرتباطات للقنوات الاستشعارية المختلفة من خلال عمليات الاكتشاف، هي التى تصبح المادة الخام للتعلم. لنتذكر نقاشنا السابق الذي أشرنا فيه في جوهره، "Hebbian " إلى لوغاريتم تعلم هيبيان يكوِّن علاقات من خلال معاملات الإرتباط. ومثل هذه العمليات، تُنتِج ترابط بين التناسق الحسي - الحركي المعقد — وبالتالي مفاهيم معقدة — يمكن توليدها. ورغم أن التصنيف في الطفولة يتضمن إستخدام كلاً من المعالجات الاستشعارية - و- الحركية، إلا أن هذا الاقتران للنظام الحركي يبدأ في التلاشي بحيث لا يحتاج الطفل الى أن ينحصر في بيئته دائما: أي يمكنه تصنيف الأشياء من خلال النظر إليها. وبصيغة أخرى، فإن الطفل سوف يشكل

تصنيفاته بدون إدخال أي شيء إلى فمه (تالين و سميث، 1994، Thelen and Smith. م و رغم أن) الطريقة التي تجري بها هذه العمليات الاقترانية بالتلاشي غير معروفة، هناك بعض الدلائل التجريبية التي تدعم هذه الفكرة. لقد تم إثبات أن أجزاء الدماغ البشري ذاتها تشترك عند القيام بعمل أو مشاهدته، أو مجرد التفكير فيه) :mirror " إنظر مفهوم "مرآة الخلايا الدماغية neurons مشروحة في الفصل القادم). وعلى الرغم من أن هذا الوصف قد لا يعكس تماما كيفية تشكيل المفاهيم - ذات المستوى العالي عند الأطفال، إلا أن الأثر الإرشادي للجسد يعتبر بوضوح متطلبا سابقا لهذه المفاهيم.

التفاعل الاجتماعي 5.9

نصل الان الى خط النهاية – والذي يعتبره العديد من البشر الأكثر أهمية - منظور التطوير، وهو التفاعل الاجتماعي. ولكن، المعالجة التامة لهذا الموضوع تعتبر خارج نطاق هذا الكتاب.إلا أننا سوف نتفحص عدداً من أوجه التفاعل الاجتماعي، وجميعها ترتبط مباشرة بمعالجات الإستشعار الحسي - الحركي للكائن: المحاكاة، والانتباه المشترك، والتنصيب، واللغة الطبيعية. ولقد أشارت بوضوح جاكلين نادل (Jacqueline Nadel)

الباحثة في المركز الوطني للبحث العلمي (Centre National de la Recherche Scientifique) في باريس إلى أن التناسق الحسي - الحركي و التفاعل الاجتماعي يشكلان نوعان مختلفان من السببيات (نادل، Nadel). على سبيل المثال، 2002 م معرفة أن الطفل يصرخ سوف يسبب هرولة الأم مسرعة نحو طفلها، وبأن التبسم سينتج عنه تبسم مردود من المتفاعل الآخر، وهو مختلف كلياً عن معرفتك بأن السائل سوف ينسكب من الكوب إذا تمت إمالته. وكلاً من الحالتين الصراخ و إمالة الكوب يترتب عليهما نتائج، ولكنها مختلفة: في التفاعل الاجتماعي والإستجابة من شخص لآخر؛ وفي التناسق الحسي - الحركي والتفاعل مع البيئة.

المحاكاة، الاهتمام المشترك، و التنصيب ((Imitation, Joint Attention, and Scaffolding

المحاكاة موضوع رئيسي في تطوير الروبوتات، وهنا سوف نتلمس فقط بعض المسائل المتعلقة بهذا الموضوع. ويمكن للقاريء المهتم الرجوع الى كتابات (دوتنهان و نهانيف، Dautenhahn and Nehaniv)، 2002م، (كونيوشي وآخرون، 2003 م)،

Kuniyoshi et al) يوشيكاوا وآخرون (a2004 ،و
وكما هو معروف في كتب .Yoshikawa et al) ،م
علم النفس، فإن المحاكاة تعتبراستراتيجية قوية لتعليم الأطفال. فعلى سبيل المثال، محاكاة الأصوات تساعد الأطفال على تعلم إجادة اللغة الطبيعية. وإن تعليم الروبوتات من خلال تقليد البشر أومحاكاة الروبوتات الأخرى أمثالها هي بالتأكيد استراتيجية أفضل بكثير على المدى البعيد من برمجة الروبوتات لأداء مهام معينة؛ و ببساطة يمكننا أن نعرض للروبوتات ما نطلب منها عمله (أو نجعلها تشاهد ماتفعله روبوتات أخرى (، وبذلك تكتسب المهارة المطلوبة! ولكن هناك أسر: المشكلة هي أن تجد الميكانيكيات الأساسية التي ستسمح للكائن بمحاكاة سلوك فرد آخر.

ونستنتج من الدراسات المستفيضة في محاكاة الروبوتات أن من أعظم صعوبات المحاكاة هو طبيعة تعلم الكائن الذاتية من البيئة، والذي يتطلب من الروبوتات تفسير بيئتها، أي تفسير حركات ونوايا الكائنات الآخرى، من خلال نظامها الذاتي الحركي - الحسي. وبصيغة أخرى، تتطلب المحاكاة قدرات إدراكية متطورة، وهو جانب عادة ما يتم إهماله في النقاشات حول هذا الموضوع. عادة ما يسهل عمل الباحثين في العلوم ا

لتجريبية عرضهم لحركات الروبوتات من خلال حركات واضحة منتقاة من مخزون محدد، بحيث يتأكدون أن السلوك الذي يجب محاكاته هو الوحيد الذي يقع في المجال البصري للروبوت ويمكن تتبع تحركه، وذلك من خلال أدآء تحركات غير متجانسة مع الخلفيات حتى يسهل الفصل مثلا بين صورة المعلم و بين الخلفية، وهكذا. ولابد أن نكون حريصين فلا نقع في الفخ الذي وقع فيه باحثوا الإبصار في الحاسوب: فربما أن تركيب جسد الروبوت يسمح له بالحر كة أبعد من التحليل الصوري و قد يساعده في تبسيط مهمة الإستشعار والتعرف على سلوك ما في جسد كائنات أخرى. ولكن يبقى هذا .موضوعا آخر مطروحا للبحث

ومن الأحداث المذهلة الحالية لعلم خلايا الأعصاب الحاسوبية هو اكتشاف وجود أساس في علم خلايا الأعصاب يمكن تعريفه لتفعيِل إمكانية تطبيقات المحاكاة المتقدمة. لقد أدى اكتشاف "مرآة الخلايا الدماغية " إلى (Gallese et al ،(غاليزووآخرون، 1996 م حدوث ضجة في الوسط العلمي التطبيقي لأن الإستشعارات الحسية لدى الحيوانات تنشط وتحفَّز عند حركة الحيوان أو عند ملاحظة ذات الحركة يؤديها حيوان آخر. وبذلك فهي تشرح أن المفاهيم الإدراكية تقترن

بشدة مع النشاط الحركي - الحسي في الدماغ: عند تنفيذ الفعل الحركي أو ببساطة أثناء ملاحظة النشاط في كائن آخر، فإن ذات المناطق تنشط في الدماغ.

أفضى اكتشاف مرآة الخلايا الدماغية إلى مناظرات حادة وعنيفة في أبحاث علم خلايا الأعصاب الحاسوبية حول أى مدى تتطلب القدرات الإدراكية مهارات حركية. هل القدرة على امساك الكوب متطلب سابق للقدرة على إدراك هذا السلوك ضمن السلوكيات الآخرى. حقاً، إنها مسالة محيرة. إذا كان الكائن سوف يتعلم بأسلوب المحاكاة فلابد أن تكون لديه قدرات إدراكية متأصلة: يجب أن يكون قادرا على معرفة الفعل الحركي المرغوب من الآخرين. ولكن إذا كانت هذه القدرات الادراكية تتطلب أن يكون الكائن قادرا على أداء هذا الفعل الحركي، من قبل، فهذه مشكلة من نوع البيضة والدجاجة (Catch - 22): فمن أجل أن تتم المحاكاة، على الكائن أولا أن يشاهد الفعل الحركي، و لكن حتى يشاهد الفعل الحركي على الكائن أولاً أن يكون قادرا على أداء هذا الفعل الحركي بحد ذاته.

ولكن هذه المشكلة ممكن حلَّها إذا نظرنا إلى التطويرعلى أساس أنه عملية تراكمية، بحيث تبنى أي مقدرة على المقدرات الموجودة مسبقا. فعلى سبيل

المثال، قد يصل الطفل إلى أي شيء فقط بطريقة عشوائية و غير دقيقة، ولكن هذا الأسلوب العشوائي في السيطرة على حركات الذراع قد يؤدي إلى سيطرة أكثر دقة مستقبلاً. وهكذا فإن هناك تشابه كثير بين التحركات في المنظور التطويري؛ فالقضية ليس كل – شيء – أو لاشيء يهم: السلوكيات المحددة، مثل سلوك الوصول إلى شيء، ليس فقط ممكنا أو غير ممكن، ولكن يمكن أدائه بدرجة أقل أو أعلى من السيطرة.

ومتطلب سابق آخر للمحاكاة يبدوا أنه مشترك أو ذو إهتمام مشترك: لابد على المدرب والمحاكي أن يركز على ذات الجزء من الجسم أو الحركة، وإلا فإن المتعلم لن يتمكن من معرفة ما الذي يحاكيه. إن الإنتباه المشترك يأتي في صور متعددة و يمكن تحقيقه بعدة طرق. على سبيل المثال، يستطيع المدرب، إحضار الجسم الملموس إلى داخل مجال إبصار الروبورت ويحرك الجسم إلى الأمام و إلى الخلف. فإذا كان الروبوت مزود بجهاز كاشف لتتبع الحركة سيبدأ بالتركيز على هذا الجسم، كما الذي ناقشناه في الفصل (Cog) حصل في مثال كوغ السابق. وهناك إمكانية أخرى وهي أن يستنتج الطفل أو الروبوت الموقع الذي ينظر إليه الشخص الآخرمن خلال إستقراء اتجاه تحديقاتهم، وهي مهمة غير بسيطة،

خاصة في البيئة الديناميكية.المتغيرة. وبينما تُبرمَج عادة آلية الانتباه المشترك مسبقا من قبل مصمم النظام، فقد كانت هناك محاولات لتحقيق الانتباه المشترك من افتراضات أساسية، مثل تعلم هذه الآليات أثناء التطوير. ويلي ذلك نسخة مبسطة للعمليات التي شرحها كلٌ من ناغي وزملاؤه (Nagai and his colleagues). أولاُ، يتعلم الروبوت التركيز على الجسم في حدود مجاله البصري، مستخدماً فقط معلومات بصرية عن الجسم. ومن ثم، يتعلم ببطء كيف ينظر إلى ذات الجسم من خلال النظر إلى وجه شخص آخر ينظر إلي ذلك الجسم. وبمعنى آخر، أن الروبوت يتعلم كيف ينتقل من الانتباه البصري إلى الانتباة المشترك — بحيث أن كلاً من الروبوت والشخص الآ خر يشتركان في النظر إلى ذات الجسم. ويستطيع القارىء الذي يرغب في المزيد من المعلومات الرجوع الى الدراسات المنشورة في هذا المجال مثل (ناغي وزملاؤه ، Nagai et al)، 2003م.

ناقشنا في الفصل الرابع التنصيب، وهو بناء البيئة بطريقة معينة لمساعدة الكائن على إنجاز مهامه، أو ليتعلم كيفية انجازها. وللتنصيب أيضا معنى اجتماعي خاص. عادة المعلمون والمدربون يستخدمون "التنصيب" لتيسير عملية التعلم والتطوير. فعلى سبيل

المثال، يمسك الوالدين في البداية بيد طفلهم أثناء تعلمه المشي. وعندما تتطور مهارات المشي لدى الطفل، تتناقص تدريجياً مساعدتهم له مما يجعل الطفل يعتمد أكثر على ذاته. وعلى الرغم من أن بعض التجارب الأولية التى تعرض أن هذا النوع من التنصيب مفيد حقاً من ناحية جودة وسرعة التطوير في التعلم، إلا أن هناك القليل من الدراسات التي قاست تماما مقدار التحسن الذي يحققه التنصيب في عملية التعلم.

لإنهاء نقاشنا حول التفاعل الاجتماعي دعونا ننتقل إلى أكبر تحدي في تطوير الإدراك، ألا وهو اللغة الطبيعية.

اللغة الطبيعية

تقع الاتصالات في قلب التفاعلات الاجتماعية. و كما هو معلوم، فإن أساس تطوير الإنسان يقوم على الاتصال اللغوي الطبيعي.

إن معظم ما نعرفه سمعناه من الآخرين أو قرأناه في الوثائق المدونة. عند دراسة التطور أو النمو في فصائل أخرى غير الانسان مثل الفئران يمكن إسقاط مسألة اللغة الطبيعية من الإعتبار، ولكن هذه القدرة لابد وأن تأخذ في الإعتبار عند دراسة التطور الإنساني.

وللأسف، لا يوجد إلا عدد قليل من التجارب الموثوقة في مجال اللغة حول إمكانية نشوء اللغة في النظم المجسدة. ومنها كما ذكر سابقاُ، التجربة الهامة المعتمدة على تقنية الإنترنت لمجموعة لووك ستيلز (Luc Steels) عن اكتساب الكائنات شبه المجسدة للمفردات، أي الكائنات المزودة بكاميرات متحركة موجهة أمام لوح أبيض. ويوجد في هذا اللوح الأبيض أنواع مختلفة من الأنماط، مثل مثلثا ت ومربعات ودوائر، بألوان وأحجام و ترتيبات مختلفة. وتعتبر تجربة الرأس المتحدثة نوع من الألعاب اللغوية، التي تزود فيها الكائنات بكاميرات، موضوعة إما في ذات الغرفة أو في موقع مختلف آخر من العالم، لتحاول أن تخمِّن ما الذي ينظر إليه الكائن الآخر. وفي ذات الوقت، إما أن تبتكر الكائنات كلمة أو تستخدم كلمة جديدة، مثل "بلاتش: blatesh" قد سبق ترتيبها بشكل معين، مثل مثلث أصفر يعلو دائرة حمراء. وتعتبر لعبة اللغة هذه ناجحة إذا اتفقت الكائنات على كلمة وتعريف معين لها. و إلا سوف تعتبر فاشلة. ومن المذهل أنه بعد آلاف التفاعلات، تظهر نقطة تتقارب فيها معاني المفردات. إن التفاصيل مهمة، ولكن التجارب أوضحت كيف يمكن لشيء مثل اللغة أن ينشأ، بدلا من برمجتها في النظام. والنتيجة المذهلة أن المفردات في

مجتمع الكائنات تنشأ بالكامل، وذلك نتيجة لعملية (تنظيم الذات (self - organizing:. إلى الآن لقد تعاملت التجارب فقط مع المفردات، غير أن ستييل و فريقه يعملون على تحقيق الخطوة القادمة وهي عملية اكتساب بناء الجملة. إنه لشيق أن تفكر كيف سيلعب ذلك دوراً في المستقبل: وهل ستتمكن الرؤوس المتحدثة من اكتشاف مفردات شائعة، وبناء الجمل، و النحو و الصرف، وبذلك توجد لغتهم الخاصة ؟ ومثل ماذا ستكون هذه اللغة؟

5.10 أين وصلنا وإلى أين سنتجه من هنا؟

كما ذكرنا من قبل، نحن في الجزء الأفضل، في التطوير الروبوتي، وبذلك فإن الروبوتات شبه البشرية هي منصة الاختيار. وتعتبر الروبوتات شبه البشرية الأدوات المفضلة لدراسة النظم المعقدة بدرجات متعددة من الحرية، والتي، مثلما رأينا في هذا الفصل، تعتبر معطيات مهمة لدراسة التطوير. وهناك فائدة أخرى وهي :إمكانية استخدامها (نماذج للتطوير البشري models of human development). أما الفائدة الثالثة فلها علاقة بالتطبيقات، مثل هذه الروبوتات سوف تتمكن في النهاية من آدآء وظائفها في البيئات البشرية، وهذا موضوع سيتم طرحه مرة أخرى في الفصل الحادي عشر. وأخيرا وليس آخرا، فإن تركيب الروبوتات شبه

البشرية ستطوِّر روبوتات تقنية متقدمة بأشكال فنية ــــ متضمنة استشعارات جديدة، و تكنولوجيات تشغيلية، و(أدوات هندسة النظم :— (systems engineering toolsتعمل بسرعة مذهلة.

ولكن، من المهم أن نكون واقعيين في نظرتنا إلى الأمور. يجب أن نعي أنه بالرغم من شبههم الإصطناعي للبشر، فإن الروبوتات شبه البشرية لديها بصفة عامة التركيبات البنيوية مختلفة من ناحية الإستشعارات. ويجب أن نضع في بالنا أيضاً أنه بسبب أننا نبني روبوتاً فعلياً واستخدامنا تكنولوجيات مختلفة مختلفة عن النظم الطبيعية ـــ مثلا، الإستعانة بألة محركة بدلا من العضلة ــــونحن نقدم نوعاً مختلفاً كليا من الديناميكيات التي لا تعكس ما يحدث في النظام البيولوجي. و بسبب مظهر الروبوتات شبه البشري، يقع الباحثون عادة في فخ الفخار. و ليس مستغربا سماعك لجملة تفيد بأن " الروبوت يملك ذكاءا يوازي ذكاء طفل السنتين". ولكن فكر فقط في جميع الأشياء المختلفة: نظام اللمس الحركي عن بعد، منطقة الفم، اللسان بجميع استشعاراتة، نظام النطق المعقد (لإنتاج الكلام)، التركيبات المعقدة للأوتار العضلية، وكامل وظائف الأعضاء. وكنتيجة مترتبة على ذلك، فإن المفاهيم التي تستطيع الروبوتات إكتسابها

ستكون مختلفة جدا عن مفاهيمنا. ولكن رغم هذه القيود، نستطيع أن نتعلم الكثير عن كيف، من ناحية المبدأ، يتم تَعلُّم المفاهيم.

سؤال جيد نستطيع دائماً أن نوجهه هو ما الذي تعلمناه إلى الآن من هذا المجال. أولا، من الواضح أن علم التطوير الروبوتي مجال بحث مثير ومزدهر و يحمل في طياته أهدافا طموحة ــــ مثل نمو روبوت "راشد" من روبوتً "طفلً"، فهم التطور الإنساني، تصنيع روبوتات ذاتية التعلم مزودة بمحركات تشابه قدرات البشر الإستيعابية، والإدراكية. المستقبل فقط هو الذي سيخبرنا ما إذا كانت هذه الأهداف ستتحقق أم لا أو متى ستتحقق. ولكننا نستطيع القول أنه تحققت عدة نتائج مبدئية مهمة مما قد يبشر بامكانية تحقيق المزيد: تعلمت الروبوتات جوانب لمهارات التحكم الحركي و التناسق الحركي - الحسي؛ وروبوتات أخرى تعلمت من خلال محاكاة البشر أو غيرهم من الروبوتات الأخرى؛ وبعضها قام بغزوات لحل مشكلة برنشتاين (Bernstein) وغيرها. وهناك إمكانية أخرى مثيرة لتطور هذا العلم في المستقبل وهي إمكانية اكتشاف أنواع جديدة ومختلفة من الإدراك قد تشبه أو لا تشبه الإدراك البشري. وهذا يظهر لنا دراسة" الحياة (أو الذكاء (كما هو" وليس " الحياة

(أو الذكاء (كما يمكن أن تكون". وكما ذكرنا سابقاً، فإن التركيبات البنيوية غير الإنسانية قد تقودنا في النهاية إلى أنواع من الإدراك غير الإنسانية.

إننا نشعر، في هذه اللحظات، أن الأكثر إلحاحاً وإحتياجاً في هذا المجال هو تطوير تكنولوجيا الروبوتات: وسنذكر القليل منها على سبيل المثال، بناء الجلد الاصطناعي، و العضلات الاصطناعية، والنظم العصبية الاصطناعية. مثل هذه التقنيات سوف ستقودنا غالباو بالتأكيد إلى اكتشافات علمية في مجال صناعة الروبوتات وسوف تُقرِّب المجال من تحقيق أهدافه الطموحة.

ملخص: مباديء تصميم النظم التطويرية 5.11

أثناء عرضنا الموجز عن الروبوتات التطورية، لقد أشرنا ضمنيا أو بصريح العبارة إلى عددً من مباديء التصميم، وعلى وجه الخصوص مباديء تصميم النظم الذكية. وسوف نربط معاً بعضا من الأفكار العديدة التي ناقشناها في هذا الفصل، وقد جمعنا عدداً من مباديء التصميم الاضافية، وخاصة لتصميم النظم التطويرية. والعديد من الأفكار التى تطرقنا إليها في الفصل الرابع، وإلا أننا سوف ننظر اليها من منطلق التطوير.

إن: مبدأ تكامل المدى الزمنى (Time scale integration principle)، هو أول ملاحظة أو

مبدأ، إذا أردت أن توضح أن هناك العديد من المقاييس الزمنية التى لابد من تكاملها أثناء تصميم الروبوتات، وهي مشكلة تصادفنا فقط في الكائنات المجسدة. أما في حالة الكائنات الرقمية وغير المجسدة فليس هنالك زمن حقيقي وهكذا، من وجهة نظر الكائن (البرنامج)، هنالك فقط خطوات عملية واحدة تلو الاخرى. ولكن في العالم الحقيقي، هناك تتابع زمني حقيقي تحدث خلاله الأشياء ببطء شديد. ولقد ناقشنا مختلف المقايس الزمنية في الفصل الثالث. ويقدم المنظور التطويري عدداً إضافياً من المقايس الزمنية وذلك حتى يؤخذ في الاعتبار حقيقة أن التطوير يمتد عبر حياة الفرد الزمنية. ولكن لأن العمليات الحركية - الحسية، والتي تحدث في المدى الزمني القصير، تشكل أساس التطوير – والتي تحدث عبر المدى الزمني للوجود الجيني – فإن هذه المقاييس الزمنية المختلفة لابد وأن تتكامل في زمن وحيد وفي ذات الكائن، ويطلق على هذا مبدأ تكامل المدى الزمنى.

إن (مبدأ عملية التطوير التراكمي: (Development as an incremental process principle، وهي الملاحظة الثانية أو المبدأ، الذي يوضح بأن التطوير عبارة عن عملية تاريخية أو تراكمية. وحتى يتمكن الكائن الحي من التعلم

في التحكم بنظامه العقلي – الجسدي، من الضروري أن يبدأ الكائن بسيطاً ـــ طبيعياً كان أم اصطناعيا ـــ لكي يستطيع أن يبني بنجاح فوق ما لديه من تراكمات معرفية سابقة. وبصورة أخرى، إذا بدأ الكائن باستخدام كامل تركيبته المعقدة (مثلا: القنوات الاستشعارية عالية الوضوح، مرونة عالية الدقة في التحكم الحركي)، فلن يستطيع أن يتعلم أي شيء أبداً. و تركز معظم التجارب القوية في المجال، بطريقة أو بأخرى، على هذه العملية. ويطلق على هذا مبدأ عملية التطوير التراكمي.

(مبدأ الاكتشاف Discovery principle): إن وهو ثالث ملاحظة أو مبدأ نتج من النقاشات الدائرة حول فكرة الاكتشاف. من خلال التحرك بطرق متعددة ومختلفة، أو بشكل عام، أو باستكشاف جسدك في بيئتك، يمكن أن تكتشف و تتعلم بصورة مطلقة عن حالات الجذب المختلفة وطرق الانتقال بينها، وبذلك سوف تُكَوِّن صورة للجسم. ولأن حالات الجذب هي نتيجة طبيعية لديناميكية حركة الكائن، فإن هذه العملية إلى درجة كبيرة ذاتية التنظيم. ونطلق على هذا مبدأ الاكتشاف. وبهذا فإنه يوفر نوعا من الطرق الإجتهادية لإيجاد أفضل أنواع الأنشطة الاستكشافية الأكثر مناسبة لبناء وتكوين صورة الجسم، وهو موضوع مطروح للبحث حاليا.

إن: (Social interaction principle) مبدأ التفاعل الاجتماعي وهو رابع ملاحظة أو مبدأ في التنسيق الحركي - الحسي، الذي شرحناه بتفصيل في الفصل الرابع، وبحاجة إلى أن يتكامل مع التفاعل الاجتماعي. ويبدو ان المعالجات الحركية - الحسية بالتكامل مع التفاعل الاجتماعي سوف يوفر المحرك الأقوى للتطوير.و بالرغم من وجود بعض الدراسات التي جمعت بين الإثنين، خاصة في موضوع المحاكاة والانتباه المشترك، لازال هناك الكثير لابد من إنجازه في هذه الواجهة. ويطلق على هذا مبدأ التفاعل الاجتماعي (لونغريلا، Lungarella، 2004م). وبالرغم من عمومية هذا المبدأ، فقد طرحت عدة اقتراحات في الأبحاث التي نشرت حول كيفية استغلال الكائن لأنواع التفاعل الاجتماعي المختلفة لتطوير جسده. ومجددا لا زال هناك الكثير مما يجب القيام به في هذا المجال.

إن: (Motivated complexity principle) مبدأ التحفيز المعقد وهو خامس و آخر ملاحظة أو مبدأ في ضرورة وجود محفزات أساسية للكائن لإضافة تعقيداته الذاتية خلال عملية التطوير: وإلا، ما الذي يمنعه من أن يكون سعيدا بما لديه؟ وهذه وجهَةٌ

مهمة لمبدأ القيمة الذي تم وصفه في الفصل الرابع. تذكر، كما أشرنا إلى ذلك سابقا، أننا لا نريد أن نبرمج المحفزات مباشرة بالكائن. وبالأحرى، فإن المحفزات يجب أن تنشأ من العملياة التطويرية أو التطورية. ويطلق على هذا مبدأ التحفيز المعقد.

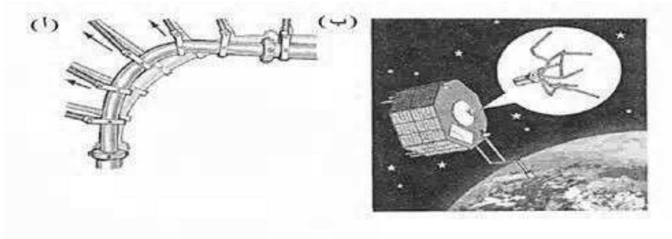
لقد كشف هذا الفصل العديد من الحقائق عن التطوير، ولكن يبقى بالطبع المزيد ـــــفمثلاً، من الممكن ضم عدد هائل من المؤلفات المنشورة في التطوير و علم الخلايا العصبية الدماغية في هذا الجزء. و لكن نأمل بما قدمناه أن نكون قد ساهمنا في إيصال المعلومات الهامة في هذا المجال البحثي المثير، والذي مازال في نشأته الأولى. وحيث أن هناك الكثير من الشباب يعملون في هذا المجال، فهناك الكثير من الطاقة و التفاؤل. دعونا الآن ننتقل من المدى الزمني للوجود الجيني الى التطورالعرقي ولنلقي الضوء على كيفية تفعيل التطور في مجال الذكاء الاصطناعي.

الفصل السادس

التطور: نحو الإدراك من الصفر

في عام 1960 م، بدأ الباحث أنجو ريكنبرج (Ingo Rechenberg) من الجامعة التقنية في برلين (Technical University of Berlin) بالتفكير في كيفية استغلال قوة التطورفي حل أصعب المشكلات الهندسية. إحدى هذه المشكلات كان كيفية تصميم شكل أمثل للأنابيب يسمح بانسياب السائل فيها لأقصى حد ممكن. يوضح الشكل (6.1) الفكرة الرئيسية. حيث يدخل السائل إلى النظام من خلال الأنبوب الرأسي في اليسار، ويعاد توجيهه إلى الأنبوب الأفقي المسحوب إلى الأعلى. سأل ريكنبرج نفسه ماهو الشكل الأمثل لربط الأنبوب، الحد الأقصي optimal " :حيث تعني كلمة " الأمثل لتدفق كمية السائل داخل الأنابيب، والذي أساسا يمثِّل تخفيض الاضطراب الحركي. وأجيال المهندسين لم يكترثوا للتفكير حتى في هذا السؤال وذلك لأن شكل ربع الدائرة بدا وكأنه الحل الامثل. وهذا ما أدهش ريكنبرج. لقد ظهر له أن الشكل الأمثل للأنبوب الذي نتج من خلال تجاربه يحتوي على تحديب غريب الشكل، كما يظهر في الشكل (أ:6.1). (لقد أنتج هذا الشكل أوتوماتيكيا

باستخدام لوغاريتم تطوري ؛ لعرض شامل لهذه اللوغاريتمات راجع إطار التوضيح 6.1). و عندما تجري فعلياً العمليات الفيزيائية المناسبة لهذه المشكلة، سوف تتأكد بأن التحديب هو حقاً أمثل وأفضل حل. ومن المثير أن تلاحظ بأن ربع الدائرة يقع داخل حدود المربع الذي نرسمه. ودون أن نعي، ذهنيا هذه المشكلة: من حيث أن الأنبوبان العمودي والأفقي يشكلان ضلعين هذا المربع الخيالي. (تذكر من طفولتك ذاك اللغز الذي تصل فيه الأركان الأربعة للمربع بحيث تنتهي إلى ذات النقطة التي بدأت منها مستخدما ثلاثة مستقيمات فقط ؟ الحل صعب للغاية لأننا نحدد أنفسنا وبدون أي انتباه داخل المربع). السبب في عدم استخدام الأنبوب المحدب حتى اليوم، على الرغم من خاصية السيلان العالية التي يوفرها، هو أن خاصية السيلان ليست المتطلب الأوحد في هذه الأنابيب: فالأنابيب التي تحتوي على ربع الدائرة غير المحدبة وهي أرخص للتصنيع و تأخذ حيزا صغيرا.



الشكل 6.1:

منتجات مبتكرة للتطور الاصطناعي. "ابتكاران "للتطورالاصطناعي. (أ) مشكلة أنبوب الطاقة المحدب لريكنبرج: ماهو الشكل الأمثل للقطعة الموصلة

بين الأنبوب العمودي الذي يندفع فيه السائل والأنبوب الأفقي الذي يخرج منه السائل؟ ابتكر ريكنبرج آلية تمكن القطعة الموصلة بين الجزئين من التغير الإعتباطي تحت تحكم البرنامج الحاسوبي. ولقد إتضح أن الجزء "المحدب" الغريب الشكل الذي قدمه التطور الاصطناعي يقلل الاضطراب مقارنة بربع الدائرة. (ب) الهوائي المستخدم في القمر الصناعي المعروف بإسم ناسا إس تي 5 .NASA ST - 5 و تمكن جيسون لوهن ورفاقه(Jason Lohn and his colleagues) من مركز الأبحاث الأمريكي ناسا إميز (NASA's Ames) في كليفورنيا من تغيير شكل الهوائي تطوريا باستخدام اللوغارتمات الجينية.

منذ زمن تجارب ريكنبرج والتى كانت بمثابة ثورة فكرية علمية لإستغلال التطورالاصطناعي كان له أثركبيرفي أقسام الهندسة والحاسب في جميع أنحاء العالم، حيث انتشر استخدام اللوغاريتمات التطورية انتشاراُ كبيرا في تصميم كل شيء إبتداًَ من أجنحة الطائرات إلى برامج الحاسوب وانتهاء بالشعر. بالإضافة إلى تصميم المعدات الميكانيكية، والبرامج أو المستلزمات الفكرية، والأعمال الفنية خلال السنوات القليلة الماضية، بدأ الباحثون باستخدام هذه اللوغاريتمات لتصميم كائنات روبوتية وافتراضية، بعضً منها بإمكانه إستعراض سلوكً متطورً رفيع المستوى.

سوف ننظر في هذا الفصل أولاً في بعض الأسباب التى دعتنا إلى استخدام التطورالاصطناعي عند دراستنا للذكاء. وبعدها سنقدم نبذه تاريخية بسيطة حول هذا المجال، ونشرح بإيجاز كيفية عمل اللوغاريتمات

التطورية، ثم نتفحص بعض تطبيقات العالم الحقيقي الواقعي لها. ومن ثم سنخوض في علم الروبوتات التطورية، والتى نناقش فيها أفضل أسلوب تطوري في الأنظمة المجسدة. وأكثر تحديداً، سوف نناقش أهمية تطور جميع أوجه — التركيب البنيوي، والمواد، و التحكم العصبي — للنظم المجسدة؛ وكيفية تطويرها. وسوف ننظرالى نماذج) الشبكات الجينية المنظمة: genetic regulatory networks)، والتي تعتبر أدوات قوية لزيادة القوة الابتكارية للتطور الاصطناعي عن طريق استغلال

إطار التوضيح 6.1
التطورالاصطناعي Artificial Evolution

يستلهم التطورالاصطناعي إيحاءاته من التطورالبيولوجي. ولكن، وكما هو الحال في شبكات الخلايا العصبية الاصطناعية (إطار الإيضاح رقم5.1)، يجب أن نقوم بتجريديات هامة إذا أردنا أن نستغل قوة التصميم التطورية. هناك كم هائل من المؤلفات المنشورة والمحتوية على الإختلافات الكبيرة حول اللوغريتمات التطورية، ولكنها جميعا يمكن أن تناقش من خلال الدورة البسيطة الموضحة في الشكل 6.1. ويستخدم الباحثون الكثير من المصطلحات البيولوجية الحيوية مثل البنية الوراثية العرقية الجينية ويشمل الكروموسوم، الصفات والنمط الوراثي (genotype) ويشمل الجينات الوراثية وتأثيرات (phenotype) الظاهري والتحوُّر أو التهجين، (selection)البيئة، و الانتخاب

وغيره. وعلى الرغم من وجهة النظر البيولوجية (mutation) هذه إلا انه من الصعب تبريرها بشكل دائم (وذلك لان العالم البيولوجي أكثر تعقيدا) حيث أن هذه المصطلحات لها معان محددة في المضمون اللوغاريتمي.

أولا يجب أن يتم ترميز مشكلة تصميمك عبر مورث أو جينوم اصطناعي (artificial genome). وفي مشكلة أنبوب ريكنبرج، تم تشفير وترميز جميع مواضع القضبان المتحكمة في إنحناء الأنبوب: حيث تضمت كل مجموعة مسارات الاتصال في شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية قيم الأوزان المتحكمة بالروبوت. وتسمى مجموعة القيم هذه بنوع الجينوم. و تتكون دورة اللوغاريتمات من الخطوات التالية.

1. (توليد الوحدات الحيوية الأولية: Generate initial population): تبدأ باختيار عشوائي أولي لوحدات الجينوم من الكروموسومات الحيوية (مثلا: وحدات حيوية للأفراد الموجودين في القائمة التي تحتوي على جميع مسارات الاتصال في شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية التى لها قيم وزنية).

2. (التطوير: Development): لتحويل التطورالكروموسومي من الجينوم أو الطراز العرقي الجيني إلى النمط الظاهري وذلك من خلال عملية التطوير نحو المتعضيات (مثلا: تعين القيم في المورث الجيني –الجينوم – بشكل قيمة أوزان للتشابكات العصبية في شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية و من ثم تُضمَّن الشبكة في الروبورت).

3. (الإختيار أو الانتخاب:Selection): تُنْتَخَب الصفات المتعلقة بالنمط الظاهري التي تؤدي المهام بشكل أفضل لإنتاج وحدات حيوية جديدة (مثال: تلك الروبوتات المتضمنة على شبكات الخلايا العصبية الاصطناعية والتي تتحرك أبعد ما يكون بدون أن تصطدم بأي عائق)؛ وتتخلص من البقية التي ليس بها الصفات المرغوبة. ويتم تعريف " أفضل تنفيذ" عن طريق دالة التَّطابق (fitness

ومن أمثلتها، المسافة التي يقطعها الروبوت مطروحاً (function منها عدد المرات التي يصطدم فيها بعائق.

4. (التكاثر: (Reproduction: غالبا ما تنسخ ثم تعدل الكروموسومات أو الجينوم المختارة من الأفراد الذين تم إنتخابهم لإنتاج مجموعات جديدة، عادة يتم ذلك من خلال التبادل التقاطعي والتحور أو التهجين (crossover) (فمثلا تتغير واحدة من أوزان التشابكات العصبية التي برمجت في المورث الجيني من قبل [التحور] مع أخريات، أو "أبوين" جدد يتم إنتخابهم لإنتاج فردين جدد، يرثون جزءا من المعلومات الوراثية من أحد الآباء والمعلومات الأخرى من البقية من خلال] التبادل التقاطعي[). وهكذا سوف تتحول معظم الكروموسومات والجينوم الجيدة الى نمط ظاهري يحتوي على صفات آدآئها سيء، ولكن بعضها الآخر سوف يكون آدآئها أفضل من أبائها ومن جميع سابقيها.

5. أعد الدورة مبتدئا بالخطوة الثانية.

وستفاجئ بظهور حل جديد إذا انتظرت لمدة أطول.

تتبع معظم اللوغاريتمات التطورية هذا المخطط. وهناك عدة أبعاد يمكن استخدامها لتصنيف التنوعات المختلفة: كيف يتم تشفير وترميز المعلومة في المورث الجيني (الجينوم)؛ وكيف تتم التطويرية، والانتخاب والتكاثر؛وهكذا. ولنوجز الحديث مرة أخرى عن هذه الدورة هنا.

كلما تعلق الأمر بالترميز في المورث الجيني (الجينوم)، فإن اللوغاريتمات الجينية الكلاسيكية تحمل عادة ترميز متقطع (هولندا، في الكروموسوم (من خلال سلسلة من القيم (Holland ،1992 م الثنائية أو الأعداد الصحيحة، أو من الحروف المتقطعة)، بينما تكون ،في حالة الاستراتيجية التطوربة أعداد حقيقية (ريكنبرج، 1994م Rechenberg,). في برمجة الجينات (بانزهاف وآخرون، Banzhaf et al) ،1994م يتم تمثيل الكروموسوم بهيكل شجري في برنامج الحاسوب (ولا يمكن استخدام سلسلة من الأحرف في التمثيل ذلك لان عدم صحة جزء واحد منها "بت" في

التمثيل، سيوقف البرنامج و ستصبح دالة التَّطابق تساوى الصفر، (وهو بالتالي لن يساهم في العملية التطورية.
تحذف عادة العملية التطويرية حتى يتساوى الطراز العرقي الجيني و بهذا، (phenotype) مع النمط الظاهري (genotype) .يحدث الانتخاب مباشرة على الطراز العرقي الجيني
على سبيل المثال، أي مشكلة " أعتقد أنها مثل ابن (genotype) عرس"، نستطيع أن نستخدم دالة التَّطابق أقرب جملة معينة، التي يمكن حسابهاعن طريق إحصاء عدد الأحرف الموجودة في الموقع الصحيح. وفي حالة شبكات الخلايا العصبية الاصطناعية في الروبوت، هناك نوع من العملية التطويرية: تُضَمَّن شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية الجينية ذات الاوزان القيمية المبرمجة مسبقا في الروبوت. وفي هذه الحالة، تختلف صفة النمط الظاهري كل الاختلاف عن النمط الجيني: ولن يمكن اختبار شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية من خلال دالة التَّطابق ذاتها؛ ولابد أن تُضَمَّن داخل جسد الروبوت. ولكن تقريبا جميع اللوغاريتمات التطورية، لا يوجد بها تفاعل مع البيئة أثناء التطوير: الأوزان القيمية التى رمزت في المورث الجيني تستخدم مباشرة في الروبوت. ولكن المجتمع البحثي بدأ مؤخرا يأخذ في الإعتبار تفاعل العضو الحيوي الذي ينمو مع بيئته قبل إجراء دالة التَّطابق.
وفي مرحلة الإنتخاب، اقتُرِحت عدة خطط، وتمت دراسَة تأثيَرها بدقة في العملية التطورية. ومن أشهر الخطط كما هو معروف " والتى يكون فيها لأفراد :roulette wheel "، دولاب الحوت معينين إحتمال مؤكد، بشكل تناسبي مع تطابقهم، لإحتمالية انتخابهم لعملية التكاثر. ومن المهم أن لا يقتصر الانتخاب فقط على أفضل الأفراد بل أن يضم أيضا الأقل مطابقة وذلك للحفاظ على تنوع المجموعات.
ويطبق التكاثر عادة أساسا على أنه تحوُّر أو تهجين و تبادل تقاطعي. تحدث هذه العمليات بعدة طرق، ولقد تم التحقق من تأثيرها في العملية التطورية. ولقد إتضح أن طول المورث الجيني أثناء

إستخدام اللوغاريتمات الجينية الكلاسيكية عادة لا يتغير أثناء التكاثر، ولكن إذا كان الإهتمام هو زيادة التعقيد أثناء التطور، فمن المحتمل أن يزيد طول المورث الجيني (وربما يقصر) طوله. هذه الفكرة كانت دائما مركز إهتمام في البرمجة الجينية، ولكن أيضاً بدأ التحقق منها في (الحاسوبية التطورية: evolutionary computation) على وجه العموم (بولي، 2001 م ؛ Poli، وبنقاررد، 2003 م Bongard).

ويمكن استخدام التطورالاصطناعي تقريبا في حل أي نوع من أنواع المشاكل الهندسية. وفي علم الروبوتات التطورية، حيث يستخدم التطورلتصميم أجزاء معينة من الروبوت، يكون الروبوت عادة معطى و يُوَظَّف التطورلإيجاد قيم أوزان شبكة الخلايا العصبية الاصطناعية. ولكن أكثر اهتمامنا هو على الكائنات المجسدة: أي إننا نريد تطويركائنات متكاملة، وليس فقط التحكم في أنظمتها العصبية. وإحدى هذه الطرق هي برمجة التركيب البنيوي للروبوت بداخل المورث الجيني (الجينوم) على شكل مقاييس لصفات مميزة (مثال، أشكال أجزاء الجسد، وأنواع المفاصل التي تربط بعضها ببعض)، والتي تستخدم بعد ذلك كمتغيرات التطوريمكن تعديلها. إن المشكلة في هذه الطريقة هي أن المورث الجيني (الجينوم) يصبح طويلا جدا للكائن المعقد المصنوع من أجزاء عديدة. والطريقة الأخرى هي تضمين العمليات التطويرية في دورة التطور، كما هو موضح في الشكل 6.2.

لقد تم تقديم نوعان من التطورالاصطناعي المبني على أساس فكرة التطور. محدد الصفة الأول، كما شرحناه للتو، حيث يتم تعريف الوحدات أو النماذج التي سيتم إستخدامها بالتكرار في بناء الكائن بأكمله (سيمز، 1994 أ م Sims؛ ليبسون و بولاك، 2000م Lipson and Pollack). والثاني يتعلق بنمذجة العمليات التطويرية بإستخدام (الشبكات الجينية المنتظمة: genetic regulatory networks) (ايقنبرقر، 1999 م Eggenberger؛ وبنغارد، 2002 م Bongard). في الحالة

السابقة، لم تَعُد المحددات الوصفية لهياكل الروبوتات مبرمجة ومرمَّزة في المورث الجيني، ولكن بالأحرى فإن محددات الصفات المميزة تُضَمَّن في الشبكة الجينية المنتظمة. إن الهدف من التطورهو إيجاد القيم المثلى لهذه المحددات للصفات المميزة حتى ترشدنا إلى نمو الكائن.

وبإيجاز، فإن الشبكة الجينية المنتظمة الاصطناعية هي مجموعة من الجينات الافتراضية، محتواة في مورث وجينوم إصطناعي، وهي تؤثر على سلوك بعضها البعض. و المكونات الجوهرية في الشبكة الجينية المنتظمة تشكِّل (عوامل النسخ transcription factors). هذه عبارة عن كيماويات لها تأثيران: يمكنها أن تُشغِّل و تغلق الجينات الأخرى، التي عندما يبدأ تشغيلها تقوم بإنتاج عواملها النسخية الذاتية؛ أو يمكنها التأثير على نمو الكائن، مثل أن تسبب انقسام جزء من الجسم إلى قسمين، فينمو استشعار حسي في أي مكان من جسد الكائن، أو أن تخلق تشابكات مسارية عصبية دماغية جديدة. ويتكون المورث الجيني على عدد من الجينات، 100 جين في التطبيق الأساسي، مثلاً، و كل جين يتكون من أعداد قليلة ترمز إلى العامل النسخي الذي ينظمه، و ينتج عامل نسخي عند تشغيله، والتي تعتبر من تركيزات العوامل النسخية الضرورية لتشغيله. ومن أمثلة المخلوقات الإفتراضية التي تطورت باستخدام الشبكات الجينية المنتظمة) دافعي الحواجز لبونقارد (Bongard's block pushers و(التركيبات البنيوية ليقتبرقر: (Eggenberger's morphological structures. وللشبكات الجينية المنتظمة فوائد تفوق نماذج التطوير الأخرى من حيث تمكين الكائن من سهولة تفاعله مع البيئة أثناء التطوير، وذلك ببساطة عن طريق إستخدام ميكانيكية تترجم القوى الفيزيائية – مثل الاصطدام بالأجسام الملموسة - الى داخل العوامل النسخية. أي، بصيغة أخرى، ينتج العامل النسخي في المكان المحدد من الجسم حيث تم لمس الجسم، و من ثم ينتشر عبر

جميعً أجزاء الكائن. وبهذه الطريقة ستؤثر البيئة على نشاط الجين، الذي يؤثر على النمو.

التحكم الذاتي للتصميم التطوري. ومن ثم، وكما هو الحال في الفصل السابق، سنعرض بصورة شامله الحالة الفنية ونرى أين سيغدوا هذا المجال. وسنختم بتلخيص الرؤى الاساسيه من هذا الفصل على شكل مجموعة مباديء التصميم.

6.1 التحفيز

لقد نوَّهنا في الفصل السابق بالسبب الذي أدى إلى اتخاذنا منهج التطوير للوصول إلى الإدراك. وبطريقة مشابة، هناك عوامل تحفيزية عديده أخرى لإتباع الطريق التطوري. ومن الجدير بالذكر أن المنهج التطويري و المنهج التطوري نحو الإدراك لا يستبعدان بأي حال من الأحوال بعضهما بعضاً. وحتى الآن، فكل واحد منهما يدرس بشكل منفصل، ولكننا سوف نناقش لاحقا بأن دمجهما ـــوكذلك دمج منظور المقاييس الزمنية الثلاثة ـــ ويبدوا أن هذا المجال أحد أهم السبل الواعدة والمثيرة للبحث في مجال الذكاء الإصطناعي. بالطبع، إن السبب الرئيسي لتبنِّي النهج التطوري هو أن التطور البيولوجي أنتجَ ذكاءً: فالتطور أنتجنا (وهذا في نطاق وحيز المفهوم الوجودي)، ونحن نعتبر أنفسنا أذكياء، وهكذا ربما أن التطور الإصطناعي يمكن أن ينتج كائنات

إصطناعية ذكية. ولكن دعونا ننظر أيضا إلى بعض الأسباب الأخرى:

السبب الأول، عندما يكون القصد هو إنتاج كائنات ذكية، فإننا حقاً سنعير إهتمامنا إلى الحلول الإبداعية والأصلية. ولكن من أجل أن نأتي بها، علينا أن نتخلص من (تحيزات المصمم: designer bias). ونعني بتحيزات المصمم المحددات الآتية. لأننا كبشر، وبأشكال أجسادنا المخصصة (وهذا يتضمن البنية التركيبية ـــ الشكل، والمواد، والنظم الحسية والحركية، ـــ والفسيولوجية ـــ الجوع، و العطش، ومحركات الجنس) نشأنا في هذا العالم بظروفه الطبيعية والبيئية والظروف المناخية (الجاذبية، والنور والظلام، والمطر، وشروق الشمس، ودرجة الحرارة) بمدنه وعمرانه وأجسامه، وأوضاعه الاجتماعية (العائلة، والمدرسة، والعمل، والعلاقات، وأوقات الفراغ) فتشكل بذلك تفكيرنا بطرق معينة ـــ وهذه النقطة بالذات هي مغزى هذا الكتاب. وهذه التحيزات، دون أن ندرك، تحد رؤيتنا حول نوعية نظم الذكاء والروبوتات التي يمكن أن نصممها ونبنيها؛ وهذه التحيزات موجودة دائما شئنا أم أبينا ـــ ولا يمكن التخلص منها ببساطة. ولكن التطورالاصطناعي، وهو أقل تحديداً بتحيز المصمم وسوف يساعدنا على

اكتشاف" الحياة كما يمكن أن تكون: life as it could be ." وكما ذكرنا في الفصل الثالث، قد يعطي مفهوم " الذكاء كما يمكن أن يكون " رؤى قوية عن الذكاء بوجه عام، وليس فقط في هيئته البيولوجية. وبصيغة أخرى، بدراسة جميع أشكال الذكاء المختلفة، سوف يتكوَّن لدينا مفهومً أفضل للذكاء نتمسك به.

وإحدى نتائج تحيزات المصمم ـــ وهذه أيضاً ناقشها من قبل (لاكوف ونونيز: Lakoff and Núñez) أيضا في كتاب (من أين تأتي الرياضيات: Where Mathematics Comes From) هي طرق فهمنا للعالم ـــ حتى الشيء المجرد منها مثل الرياضيات ـــ يكون مقيداً بشدة بطريقة تكويننا. تذكر لغز المربع ذو الثلاث مستقيمات. وعلى الرغم من سهولة المشكلة، إلا أن حلها صعبً. و لكن تبين لاحقا أن حلها المحيِّرسهل للغاية: فإن كل ما عليك عمله هو رسم المستقيمات خارج حدود المربع.! ولكن، التطورلا يشبه التصميم الإنساني، إنه يبتكر بعشوائية ."blind: وهو عملية " عمياء تصميمات جديدة. و بعض هذه التصاميم قد تكون مفيدة حتى وإن كانت مختلفة عما تعودنا عليه من تصاميم. ويعتبر أنبوب ريكنبرج المحدب أحد هذه الأمثلة.

قبل الإستمرار يجب علينا أن ننوه أن هناك خطورة كبيرة لتطور الفخار في حد ذاته لأنه من الصعب أن تتصور كيف أن شيئاً متطوراً جداً كالإنسان يمكن أن ينشأ من عملية غير محددة الهدف. ولقد شرح ريتشارد دواكنز (Richard Dawkins) بروعة الفكرة المضادة للبديهي في كتابه (صانع الساعات الأعمى: The Blind Watchmaker) بأن العملية العمياء تستطيع إنتاج أشكال معقدة.

السبب الثاني في استخدامنا التطور للتصميم هو أنه، غالباً مايصبح ببساطة مستعصيا حل المشاكل الهندسية بالإعتماد فقط على الذكاء الإنساني وهكذا فالإنسان بحاجة إلى دعم من الآلآت. خذ، على سبيل المثال، تصميم هوائي الاستشعار (antenna) والذي للراديو، كما هو معروف مشكل صعب إذا تم التصميم يدويا. (سوف نسهب لاحقا في شرح هذا المثال) ونحن نأمل أن بإستخدامنا للتطور الإصطناعي سوف نكتشف بالكامل صناعات جديدة تماما، وهي تفوق إلى الآن قدرات تصميم المهندسين البشر لأنها يستعصى عليهم فهمها. والكلمة المتداولة التى في بعض الأحيان تستخدم لهذه الفكرة هي (كسر حاجز التعقيد: complexity barrier

لوصف طريقة التعامل مع هذه (breaking the المشكلة.

السبب الثالث لاستخدام التطور الاصطناعي هوأنه، من الناحية النظرية أكثر، يسمح لنا باكتشاف مباديء تصميم النظم الذكية. على سبيل المثال، إذا استطعنا إثبات أن مبدأ التصميم الزهيد أو مبدأ التوازن البيئي ينبثق من العملية التطورية ، نكون بذلك قد أثبتنا صلاحية هذه المبادىء. سنشرح لاحقا بالتفصيل مثال " دافعي الحاجز: block pushers " وهي كائنات إصطناعية قادرة على دفع أي حاجز كبير يقابلها في بيئتها التى تم محاكاتها. ولقد اتضح أن البنى التركيبية والنظم العصبية لهذه الكائنات تتفق مع نظرية مبدأ التصميم الزهيد. وكما رأينا من قبل، كيفية استغلال الكائنات البيولوجية لبيئتها بطرق مثيرة. وأنه من المدهش، أن يكون بإمكان الكائنات التطورية اصطناعياً فعل ذلك أيضا، وبطرق غير متوقعه أحياناً: وسنرى كيف أن اللوغاريتمات التطورية "تبتكر" استشعارات جديدة لإلتقاط موجات الراديو من حاسب قريب بحيث يستغل إشارات ساعة حاسب آخر.

رابعا: يمكن استخدام التطور الاصطناعي ليس فقط لأغراض هندسية بلأيضا لتعلم المزيد عن التطور الطبيعي. وليس من الضروري تمثيل كل مظهر منها

بتفصيل عميق، لكن وكما رأينا في عدد من الحالات ــــ مثل توجيه نملة الصحراء كاتاغلافيس(Cataglyphis)، ذي الحيوان وجري الأربعة أرجل، والرقص على الأدوات الغريبة الشكل مثل" ستمبي: Stumpy " ــــ وبإجراء أشياء بطريقة مختلفة نستطيع أن نتعلم الكثير عن منشأ وأصل الحيوان أوالعملية التى تحت الدراسة. خذ على سبيل المثال الروبوت العدَّاء "بوبي": ومن خلال تبسيط الميكانيكيات التى نشأ من خلالها التحريك السريع، نستطيع أن نكشف المباديء العامة والأساسية التى يقوم عليها سلوك الجري. فالتجريد دائماً يكون أساسياً لاستخلاص المباديء العامة. ونماذج الحاسب التطورية لها مميزات وفوائد مهمة تفوق فوائد التطور الطبيعي. أولا، التطور الاصطناعي أسرع من الطبيعي لأنه يحدث من خلال حاسبات قوية جدا. ثانيا، وبما أننا نعمل في عالم رقمي، نستطيع أن نسجل كل ما يحدث ونعود إلى أى حدث قد أنتهى مثل السجل الإحفوري الرقمي، إذا أردنا ذلك، ونشاهد التقدم إبتدءاً من الكائنات" الغبية" إلى الكائنات "الأذكى" وأيضاً نتعرف على سبب حدوث ذلك، شىء يستحيل حدوثه في التطور الطبيعي. ولكن، وكما هو معتاد، هناك دائما موازنة: لأن البيئات الافتراضية

المستخدمة في التطور الاصطناعي يجب أن تُبَرْمَج، فهي ليست غنية مثل البيئة الطبيعية، ونظرا للتجريدات التي يجب أن نحاكيها فقد نفشل في تضمين تفاصيل أساسية وهامة. مثلا، قد يفترض شخص ما بأن الغوريلا خاضت بأطوار حتى أصبحت تمشي على قدمين (حيوان ذو قدمين: bipedalism) حتى تستطيع أن ترى أعلى من مستوى أعشاب السافانا الإفريقية الطو يلة، من أجل الإقتراب من مكان حادث الإفتراس. وعليه إذا لم تحتوي بيئتنا الإفتراضية على مجسمات عالية الارتفاع (أو حيوانات مفترسة، لهذا الغرض) فإن الكائنات ثنائية الإقدام قد لا تظهر. (لماذا وكيف تظهر فعلياً الكائنات ذوات القدمين مازال سؤالاً مفتوحاً، وهناك عدد من النظريات المتنافسة التى تم نقاشها (هنت، 1996م، Hunt؛ لوفجوي واوين، 1981م، Lovejoy and Owen؛ وييلر، 1991م، Wheeler).

العامل الخامس الذي يجذبنا نحو التطور الاصطناعي هو الفكرة الرومانتيكية في تطور الذكاء تدريجياً من الصفر، وهذا يتعلق بفكرة (انظر الفصل السابق) تمكين الروبوت من تطوير ذاته من "طفل" إلى روبوتً "راشدً".والسؤال هنا هو إلى أي مدى نود أن نصل. بينما يهتم بعض الناس، خاصة في مجتمع الحياة

الإصطناعية، بكيفية نشوء الحياة منذ البداية حيث بدأ تكوين العالم، وفي هذا الكتاب نعني تطور الكائنات الذكية الروبوتية تدريجياً من الكائنات الروبوتية غيرالذكية. ومن الأمثلة الثانوية الموضحة لهذه الفكرة هي الروبوتات الإفتراضية "دافعي الحاجز" وهذا الذي سنشرحه فيما يلي.

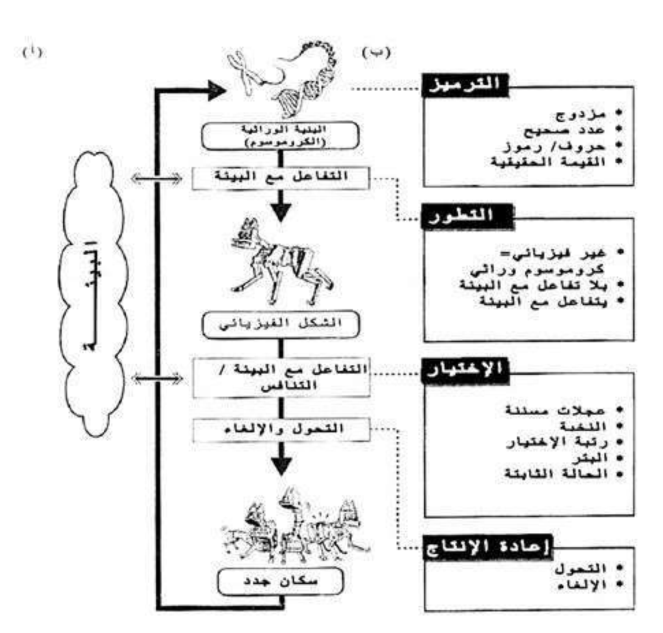
أخيرا، وهذا يتعلق بالنقطة السابقة، الذكاء التطوري قد يكون الوسائل التي من خلالها يقرر باحثوا الذكاء الاصطناعي في نهاية المطاف أنهم سيحققوا حلم الحصول على نظام أتوماتيكي التصميم بالكامل. لربما يكون ممكناً في يوم ما أن نصمم مكونات أساسية، ودارات كهر بائية، ومعدات متكاملة –وحتى روبوتات ذكية – لا يتم تصميمها يدويا ولكن ببساطة من خلال تحديد ما الذي سوف تعمله. تصور "تصميم" راديو جديد من خلال إعلام حاسبك أن على الجهاز التقاط الموجات الصوتية للراديو بأي طريقة و تحويلها إلى صوت. وبالرغم من صعوبة الوصول إلى مثل هذه العملية، إلا أن هناك قليلاً من اللوغاريتمات المتخصصة في التصميم الأتوماتيكي وتستطيع التنافس مع المهندسين البشر. ويطلق على هذا المسعى (هندسة التنافس البشري: competitive engineering

و لكن حتى في وإن كانت الحالات التي human). تطورت فيها النماذج الفنية الصناعية الغير معقدة جداً، فإنه من الممتع أن نشاهد التطور أثناء النشوء، وهو ما سنوضحه في هذا الفصل.

إذن للإيجاز، نذكر بأن هناك عوامل عديدة محفزة لاستخدام التطور الاصطناعي في أبحاث الذكاء الاصطناعي: وقد أنتج التطور البيولوجي بنجاح ذلك بيولوجياً؛ ونحن مهتمين بإنتاج كائنات بأقل تصميم بدائي ممكنٍ؛ وإن تصميم الكائنات المعقدة التركيب حالياً تعتبر خارج نطاق التقنيات الهندسية الكلاسيكية التقليدية؛ ولكننا نستطيع أن نكشف الظروف التي نشأت منها مبادىء التصميم "هنا – و– الآن" والتطوير عبر مقاييس المدى الزمني؛ ويساعدنا التطور الاصطناعي في تعلُّم التطور البيولوجي؛ وهذا يسمح لنا بإمكانية صنع كائنات ذكية "من الصفر" وربما، في النهاية، نصل إلى التصميم الأتوماتيكي بشكل عام. وقبل أن نشرع في تفاصيل تطور الذكاء، دعونا نلقي نظرة علىكيفية عمل الذكاء التطوري (الشكل6.2 يوفر نظرة شاملة).

6.2 أسس الحاسوبية التطورية (The Basis of Evolutionary Computaion)

للعملية التطورية ثلاث قوى أساسية دافعة، وهي: الاختيار التراكمي (cumulative selection)، والتنظيم الذاتي (Self - organization)، والتنويع (Variation). وضَّح داوكينز بطريقة مثيرة للإعجاب عمل الاختيار التراكمي بمثال مسلّ، فقال: لنفترض



الشكل: 6.2

نظرة عامة عن التطور الاصطناعي. أن كمية الدراسات الهائلة في مجال التطور الإصطناعي يمكن أن تربط ببعضها كما في هذا المخطط: (أ.) - المكونات الأساسية، يتحور أو يهجن العرق الجيني المتمثل بالكروموسوم خلال عملية النمو إلى نمط أو شكل ظاهري، و تتنافس الأشكال الفيزيائية فيما بينها داخل بيئتها المحيطة المخصصة، و يختار الفائز ليعاد إنتاجه، مكونا لكروموسومات جديدة. (ب) - أبعاد لتصنيف اللوغريتمات التطورية.

لنأخذ مثال قرد جالس أمام لوحة المفاتيح، وهو يقوم بطباعة الأحرف بشكل عشوائي. فإن هناك احتمال ـــ

ضعيف جدا ـــ بأنه في مرحلة ما، وفي وقت ما، ستتوافق الأحرف التي طبعها القرد مع نص (مسرحية شكسبير هامليت: Shakespeare’s Hamlet). وليجعل الأمر أكثر سهولة، اختار داوكينز (Dawkins) للمادة المطبوعة جملة واحدة من هامليت، وهي: "بدا لي كابن عرس: Methinks it is like a weasel ". وهي جملة انجليزية قديمة، مأخوذة من قطعة كان فيها هامليت يتحدث مع بلونيوس (Polonius) عن أشكال معينة من السحاب، وكان بلونيوس يردد (بحماقة) ما قاله هامليت. (لا نعرف لم كان هذا مضحكا لرواد المسرح الإنجليزي في العهد الالزابيثي (Elizabethan - era) لكن هذا خارج موضوعنا). تتكون الجملة بما فيها من فراغات وعلامات ترقيم من 29 حرفاً. وبهذا يكون مجموع الحروف الأبجدية، في اللغة الانجليزية، 26 ويضاف إليها فراغات الأحرف، فتصبح 27 سلسلة لغوية محتملة 29^{27} تعادل ($10^{39} \times 3$)، وهوعدد كبير جدا، أكبر بكثير من الخلايا العصبية في الدماغ (بحدود 10^{11}). وإذا بحثنا في كل هذه السلاسل اللغوية بشكل عشوائي ـــ أي إذا جعلنا القرد يقوم بعملية الطباعة ـــ فإن عملية إيجاد مايطابق الجملة "بدا لي كابن عرس " قد تستمر إلى الأبد (أو على الأقل أطول بكثير من دورة

حياة القرد). ولكن إذا غيرنا طريقه بحثنا ـــ إذا قدمنا وقمنا بقياس المسافة (goal function: دالة هدف) من سلسلة لغوية معينة إلى الجملة الهدف، وهي جملة "بدا لي كابن عرس "ـــ فان عملية البحث تنتهي تقريبا بعد أربعين جيلاً (اعتمادا على تفاصيل اللوغاريتمات). واليكم طريقة عملها.

نبدأ بمجموعة من السلاسل اللغوية المولدة بشكل عشوائي، لنأخذ عشرة منها. لكل سلسلة واحدة من هذه السلاسل، نحسب عدد المواقع الصحيحة: أي أين يتفق الحرف المكتوب مع الحرف الصحيح في الجملة الهدف. نختار خمسة من أكثر السلاسل اللغوية تكراراً، وننسخ جميع السلاسل اللغوية الخمس، ثم نضعها مكان الجمل الخمس الأقل تكرارا حتى يبقى عدد الجمل الكلي تقريبا كما هو. عندما ننسخ سلسلة لغوية، نختار لها موضع بشكل عشوائي، و بشكل عشوائي أيضا نختار حرفا، لنستبدله بالحرف الموجود حاليا في ذلك المكان. وبين مجموعة هذه الجمل العشرة الجديدة، نختار أفضل خمس جمل وهكذا دواليك. وإذا كررنا هذه العملية نحو أربعين مرة، سننتهي بالجملة الصحيحة. فيبدو هذا وكأنه سحرً! ويطلق على مجموعة السلاسل اللغوية في لحظة زمنية معينة (generation: الجيل)، والمعيار المستخدم

لاختيار أي من السلاسل سيبقى وأي منها سوف يُزال من القائمة يطلق عليه دالة التَّطابق، وعملية التغيير العشوائي للسلاسل اللغوية الجديدة تعرف بإسم التحوُّر أو التهجين. والسبب أن التطور الإصطناعي تمكن من الوصول إلى النتيجة بسرعة لأن العملية بنيت على ما تم تحقيقه سابقا، وهذا ما يسمى بالاختيار التراكمي.

بالطبع، لا توجد في الطبيعة، سلاسل مستهدفة: ولا أهداف مسبقة التحديد نحاول الوصول إليها؛ أي أن التطور لايفقه إلى أين سوف يتجه ــــ إنه "أعمى". والمقاييس الوحيدة هي البقاء والتكاثر: كون الحيوان لديه فرو في المناطق التى يحتاج إليها الفرو هو هدف التطور لإنتاج بعض الكائنات ذات الفرو؛ و يكون الفرو ايجابياً فقط إذا ساعد الحيوانات على البقاء لزمن كاف للتكاثر. إذنً بالرغم من أن التطور الطبيعي غير (مُوجَّه - الهدف: goal - directed)، سيتكاثر الأفراد الجيدون لأنهم تمكنوا من تكرار إنتاجهم. وبالعودة إلى تاريخ أحد أنواع الفصائل، بإفتراض أن يكون التطور باتجاه تزايد الفصائل المشعرة، لكن هذا ببساطة مجرد مثال آخر عن خطإ يعود إلى مشكلة الإطار المرجعي: حيث ينسب الملاحظ هدفاً إلى التطور (الذي ليس له هدف). بغض النظر عن الاختلافات المهمة بين التطور الإصطناعي

والبيولوجي (مثل الأهداف الصريحة أو دوال التّطابق)، أثبت التطور بالرغم من ذلك أنه فعّال وقوي كأداة تصميم وأن بعض نتائجه مذهلة. وقريبا سوف نتطرق إلى بعض منها.

لقد إزدهرت (العمليات الحاسوبية التطورية: evolutionary computation) في مجالات متعددة و متنوعة كثيرة، والكثير من العمل يهتم بتطوير لوغريتمات معينة. وعلى أي حال، إفتراضياً فإن جميع المناهج تُظهر على أنها أمثلة وتنوعات للنظام العام الذي وصفناه بإيجاز في إطار التوضيح 1. 6، " التطور الاصطناعي". هو كل ما نحتاج أن نقوم به إذن لنتفحص المخطط في ذاكرتنا، وسوف يكون لدينا فهمً جيد، مبدئياً، عن كل مايدور حوله التطور الاصطناعي. ما يهمنا في هذا الكتاب، بالطبع، هو دور التجسيد في التطور الاصطناعي. ولقد بدأ مجتمع العمليات الحاسوبية التطورية (كما يعبر المصطلح، مجتمع العمليات الحاسوبية: computational community) يتجه نحو دراسة العلاقة بين التجسيد والتطور. ولكن قبل أن نستكشف تلك الفكرة سوف نراجع وبشكل مختصر تاريخ هذا المجال.

أصل العمليات (الحاسوبية التطورية 6.3: Evolutionary Computation)

تقريبا في ذات الفترة التي كان فيها ريتشنبيرج يخترع العمليات الحاسوبيةالتطور في أوروبا، بدأ علماء آخرون إكتشاف: إمكانية محاكاة (العمليات التطورية في الحاسوب. و evolutionary processes) كان(Alex عالم الأحياء الاسترالي أليكس فرايزر أول من توصل إلى هذه العلاقة، والذي نشر Fraser) بحثا في عام 1957م وصف فيه الكر وموسومات (الجينوم) على أنها سلاسل ذات أعداد ثنائية (فرايزر، وإن السلسلة من الحروف ــــ Fraser)، 1957م الجملةــــ: تمثل حلا ممكنا لمثال: " بدا لي ومقابلاً لذلك، وفي ذات الزمن تقريبا، ".Methinks قدم عالم الرياضيات الألماني هانز بيرميرمان (Hans برنامج حاسوبي عرض فيه Bremermann) كروموسومات (جينوم) افتراضية تتناسل (بيرميرمان، للمزيد عن تاريخ) .Bremermann، 1958 م العمليات الحاسوبيةالتطورية، انظر، فوجل، 1998م، Fogel).

هذه الأدوات لإستعراض التطور ــــ سلاسل من الرموز أو أعداد تقدم حلولا للمشاكل، وتحدد لكل سلسلة

دالة تطابق متعلقة بمدى قدرة السلسلة على حل المشكلة — عرفت لاحقا باللوغاريتمات الجينية (genetic algorithms)، وفي هذا ندين بالشكر لعالم الحاسوب الأمريكي جون هولا ند (John Holland)، الذي كان يحاول تقليد التطور الطبيعي باستخدام محاكاة الحاسوب في سبعينات القرن العشرين. استخدم مصطلح اللوغريتمات الجينية مرادفاً لمجال العمليات الحاسوبيةالتطورية بشكل عام. وركز هولا ند، كما ذكر تلميذه السابق وخليفته دافيد جولدبيرج (David Goldberg)، على (تطور الكيانات المجردة :evolution of abstract entities) مثل برامج الحاسوب، واستراتيجيات للألعاب الرسمية مثل: الداما والشطرنج، والمشاكل التى تتطلب حلول مُثْلَى بصفة عامة. ومن أمثلة هذه المشكلات إيجاد الطريق الأقصر خلال شبكة، ومضاعفة عدد (الرزم :packages) التي تتسع في حيز محدد بحجم معطى، وغيره.

ومن التغيرات المثيرة في مجال الحاسوبية التطورية تلك التي قدمها عالم الحاسوب جون كوزا (John Koza). فقد قدم كوزا، عالم كمبيوتر من جامعة ستانفورد (Stanford University)، البرمجة الجينية كإمتداد للوغريتمات الجينية. في مخططه،

الجينوم ليست ببساطة سلاسل لها قيم محددة بمشاكل معينة، مثل الأحرف في مثال "بدا لي"، ولكنها تحتوى على تفاصيل أكثر لتشفير أشياء أكثر تعقيداً، مثل برامج الحاسوب. إن استخدام فراغ عينة بحجم كبير يزيد من احتمالية إيجاد حل جيد نسبيا لمشكلة ما، ولكن تقييم أعداد كبيرة من الحلول المرشحة يستغرق وقتا ـــ وقوة حاسوبية. استخدم كوزا بعضا من كسبه الهائل من عمله السابق، والذي أنتج فيه أول بطاقات اليانصيب، حتى تكون كتلا حسابية ضخمة لاستخدامه الشخصي، واستخدم هذه الكتل ليستعرض قوة البرمجة الجينية. وحالياً، قدم كوزا فكرة (التصميم التنافسي - البشري: human - competitive design) مؤشراً لمدى جودة ما تؤديه لوغريتمات تطورية معينة: إذا كان اللوغاريتم قادر على إنتاج حلول جيدة أو أفضل من الحلول التي أنتجها الإنسان حتى الآن، عندها يعتبر اللوغاريتم جيداً. إن البرمجة الجينية أثبتت نجاحاً في تصميم برامج الحاسوب والدوائر الكهربائية (انظر مجموعة كتب كوزا عن البرمجة الجينية:كوزا وآخرون، 1992م، 1994م، 1999 م، 2003م Koza et al)، لكنه أثبت فائدتها وبشكل خاص في المجالات التي يكون فيها الإنسان أقل حدساً أو خبرة، مثل تطوير برامج

الحواسيب الكمية(:quantum computers)
إن (برامج الحاسوب .(Spector، سبكتور، 2004 م)
التطورية(:evolving computer programs)
خادعة: إذا كان هناك خطأً في أصغر وحدة تمثيل بياني داخلي، فان البرنامج لن يعمل. وهكذا فان (بت :bit)
التغيير العشوائي لسلسلة من الصفر أو الواحد سوف تؤدي بالتأكيد إلى برنامج لا يجدي نفعا؛ أى أن له خاصية التطابق الصفري .(التطابق الصفري:fitness zero)
يعتبر عديم الفائدة للتطور الاصطناعي، لأنه إن كان لدى كل فرد في مجموعة فراغ العينة تطابق صفري فليس هناك أي طريقة لمعرفة الأفضل من الأفراد الذي يجب أن ينتج ذرية ويتناسل وأي منهم الأسوأ والذي يجب إستبعاده. وهكذا، عدّل كوزا عملية التهجين أو التَّحَوُّر في لوغاريتمه حتى يعمل البرنامج بصورة متواصلة (التفاصيل ليست مهمة هنا)).

وأحد أهم الخصائص الأساسية للبرمجة الجينية هي أن حجم الجين ليس ثابتا (أي أنه يمكن للجينوم أن يُشفِّر معلومات أقل أ وأكثر)، وهي سمة ذات أهمية خاصة إذا أردنا أن نطوِّر كائنات ذات مستويات عالية من التعقيد. لكن، وكما سنرى بعد قليل، إن حجم الجينوم هو الطريقة الوحيدة لتحقيق تعقيد الكائن: والذي يهمنا أكثر هو كيف

للجينات داخل الجينوم أن تتفاعل لينمو الكائن، عوضا عن العدد الكلي للجينوم أو عدد الجينات.

إنّ استراتيجيات التطور ، واللوغاريتمات الجينية، والبرمجيات الجينية هي ثلاث من أكبر الفروع الرئيسية في العمليات الحاسوبيةالتطورية.

6.4 التطور الاصطناعي في العالم الحقيقي: عن الأنابيب، والهوائيات والدارات الكهربائية

الآن حيث تكوَّن لدينا مفهوم أساسي عن طريقة عمل التطور الاصطناعي، يمكننا العودة لمناقشة مشكلتنا الهندسية للأنبوب المنحني. وقد أطلق ريتشبنرج على اللوغريتمات التطورية التي استخدمها (التطور الإستراتيجي: evolution strategy). ومثل اللوغاريتمات الأخرى، فهو يحاكي بعض مظاهر التطور الطبيعي، لكنه يناسب وبشكل خاص المشاكل الهندسية (لأنه صمم ليتعامل مع الأعداد الحقيقية). صمم ريتشنبيرج طريقة تركيب مبتكرة لتقديم حل أمثل لمشكلة الأنابيب. فعوضا عن تطوير محاكاة ألأنابيب على برنامج الحاسوب، قام بوصل تطوره الإستراتيجي لنظام فيزيائي في العالم الحقيقي الواقعي. وكما هو موضح بالشكل 6.1أ، شفرت الجينوم مواقع القضبان المختلفة والمتصلة بأنابيب مرنة، وهكذا أنتج الشكل المعين. إن الجينوم الذي

ينتج أنابيب ذات تدفق عالٍ خضعت لِ (تكرار الدمج والتهجين أوالتحوُّر. (يستخدم :recombination) تكرار الدمج في اللوغاريتمات التطورية بالإضافة إلى التهجين أوالتحوُّر حتى يحاكي التكاثر الجنسي، حيث تندمج الجينوم لشخصين لإنتاج النسل الجديد. وفي الأبحاث المنشورة يطلق على هذه العملية التبادل التقاطعي). إن هذا النظام إنما هو إنجاز مبدع حيث أن وهو إختبار ،(testing fitness: إختبار المطابقة لقياس كيفية أداء الأفراد لمهامهم، نُفِّذ في العالم الحقيقي الواقعي، و بشكلً أتوماتيكيً، بشكلً لا يضطر الشخص إلى تعريف الأنبوب يدوياً في كل مرة. تعني" الأفراد: Individuals " في هذه الحالة حلولاً للمشاكل، والتي هي عبارة عن أشكال الأنابيب التي تحدد بوظيفة القضبان.

كان لدى رتشبنرج البصيرة التي مكنته من إدراك أن لابد في (evolved solutions: الحلول التطورية النهاية من إختبارها بالحلول المطورة في العالم الحقيقي. وفي هذه الأيام، مهما كانت المشكلة، فإن معظم الحلول نتجت من تتطور لمحاكاة الحاسوب. وبعد مرور أكثر من ثلاثين عاما، برزت فكرة ريتشبنرج مرة أخرى لتندمج في (هندسة التصميم التنافسي -

البشري:engineering design competitive
وفي علم الروبوتات التطورية (نظر فقرة human)
6.5)، حيث بدأ الباحثون باختبار الأنماط الظاهرية
الفيزيائية في العالم الحقيقي.
مثالا حديثا (antennas) يُعَد تصميم الهوائيات
لهذه الفكرة. حتى بالنسبة للخبراء، فإن من الصعب إيجاد
الشكل الملائم للهوائي الذي يزيد من كفاءته لإرسال
واستقبال الإشارات، وخصوصا في المسافات البعيدة،
حيث تعتبر مشكلة صعبة وغير حدسية. ولقد قامت هيئة
Space) الفضاء والطيران الوطني الأمريكية
Administration National Aeronautics
and) ناسا (NASA) باستخدام اللوغاريتمات
التطورية ، لتصميم الهوائي أتوماتيكياً، ويوضح (شكل ب
6.1) أحد التصاميم التطورية التي أنتجت. وفي الواقع إن
الهوائي المعروض في الشكل تم تدشينه كجزء فعَّال من
في عام 2005 (:5 - ST القمر الصناعي) إس تي - 5
م. ومن الأشكال الغريبة والمتنوعة التي ولَّدتها العملية
التطورية ، يمكن اعتبارتصميم أمثل لأشكال الهوائيات
من خلال التفكير فيها فقط عملاً مستحيلاً. وفي الواقع،
أوجدت الطرق التطورية حلولاً خلاَّقة وغير عادية مقارنة
بالحلول التي أوجدها المصممون من البشر. ولاختبار

مدى التطابق أو الكفاءة في تصميم الهوائيات، استخدمت نظم برمجية متقدمة استغرقت سنين لتطويرها. وكخطوة أخيرة، فإن الهوائيات التي تم تطويرها باستخدام محاكاة الحاسوب، تم بنائها واختبار فعاليتها في الواقع. وبشكل عام، إذا كانت المحاكاة دقيقة بشكل كاف، فإن المحاكاة يمكن ويجب أن تستخدم، لأنها أكثر سرعة من بناء نظام مادي للاختبارات المتكررة؛ ولكننا، لا يمكن أن نتجاوز نهائياً اختبارات العالم الحقيقي.

ولا يشترط أن تكون اختبارات العالم الحقيقي بطيئة ومكلفة، فعلى سبيل المثال، في مجال تصميم الدارة الإلكترونية هناك طريقة سريعة لتعريف الدارة، باستخدام (مجال - برمجة بوابة المصفوفات: arrays field - programmable gate) أو باختصار FPGAs. يعد مجال - برمجة بوابة المصفوفات (FPGAs)، في جوهرها، أساس (المعالجات الإلكترونية الدقيقة: microprocessors) التي تمكّن المستخدمين من تعريف داراتهم الإلكترونية، الخاصة والمثلى لتطبيقات محددة. وعادة، تُعرَّف الدارات بأشكالها الفيزيائية عوضا عن محاكاتها من خلال المعالج الإلكتروني الدقيق. ويتم التحكم بعملية التعريف من خلال الحاسوب الذي يحدد محتويات ما يعرف بإسم (تعريف دائرة الذاكرة:

الموجودة على (definition memory circuit مجال - برمجة بوابة المصفوفات. ويمكن للحاسوب ذاته من تشغيل اللوغاريتمات التطورية.
استخدم أدريان طومسون (Adrian Thompson)، وهو عالم حاسوب تطوري من جامعة سيسكس (University Sussex) في انجلترا، مجال - برمجة بوابة المصفوفات (FPGAs) لتعريف واختبار الدارات المتطورة للتميز بين نبرة إهتزاز حِدَّة الصوت العالية والمنخفضة. ولأنه كان يعمل، إذا جاز لنا القول، على التطورية في العالم الحقيقي، باستخدام دوائر إلكترونية حقيقية، بدأت الدارات المتطورة بإستغلال الخصائص المادية لبرمجة بوابة المصفوفات نفسها! و بعد تطوير الدارة التي يمكنها أن تفرق بين نبرة إهتزاز حِدَّة الصوت العالية والمنخفضة، استخدم طومسون برنامج حاسوب آخر ليحدد أي العناصر في مجال - برمجة بوابة المصفوفات كانت بالفعل مرتبطة ببعضها البعض على الدارة. لقد أدى البرنامج ذلك العمل وإزالة جميع المكونات التي لم تكن متصلة بالأسلاك؛ وهذه المكونات يمكن بأمان إفتراض كونها غير عاملة. لكن المفاجأة العظمى، كانت أن الدائرة لم تعد تعمل عندما أزيلت تلك المكونات منها. استنتج طومسون أن هناك

ضعفا في التفاعل الكهرومغناطيسي بين المكونات المفصولة والدائرة. وحقيقية كون التطور "توصَّل" لهذه النتيجة فإنه قد أدهش كلاً من العلماء والعامة، عندما تم التصريح بذلك في مؤتمر صحفي في جامعة ستانفورد في عام 1996 م (طومسون، 1996 م ،Thompson).

إنتهكت هذه الدارة المتطورة (مبدأ الهندسة الأساسي للوحدات:fundamental modularity engineering principle of) لأنه بالرغم من أن بعض الوحدات لم تكن متصلة ظاهرياً للدائرة، لكنها مازالت تؤثر على سلوك الدائرة. والطريقة التي تجنب بها التطور مشكلة هذه الوحدات هي باستغلال الخصائص المادية للدائرة ذاتها.

التطور الاصطناعي، بالرغم من أنه "إصطناعي"، الا أنه أحيانا ينتج كائنات لها خصائص الكائنات البيولوجية. فعلى سبيل المثال، النظم البيولوجية ليست مكونة من وحدات على الإطلاق، تماما كما ذكرنا في نقاشنا حول مبدأ التكرار التبادلي، ولكن، قياساً، فإن الوحدات تؤدي عدة وظائف في النظم الطبيعية إلى حدٍ ما. فالعينان، مثال على "وحدات " بيولوجية تستخدم للتوجيه، و للتعرف على الخطر، للقراءة، لقياس السرعة، وللتعرف على الأجسام، وللتعرف على الوجوه وغيره. ولكن العينان

أيضا تزودنا بمعلومات إضافية عن فهم الحديث عندما يشاهد السامع حركة شفاه المتحدث. إذن، للعينين وظائف متعددة تتداخل جزئيا مع وحدات أخرى لها وظائف مختلفة مثل الأذن، وأعضاء الشم، أوالجلد (بإستطاعتك أن تحكم على خشونة الجسم إما عن طريق النظر إليه أو بلمسه). وهذا يتناقض بشدة مع (معيار ممارسة الهندسة: standard engineering practice) التي تنص على أن كل عنصر في النظام يؤدي وظيفة مستقلة (سوه، 1990 م Suh،). وهذا يحدث عادة لكي يتم تطوير العناصر بشكل منفصل، وحتى يكون من السهل إصلاح النظام عن طريق تحديد وتبديل الوحدة المعطوبة التى لاتؤدي وظيفتها.

وفي تجربة أخرى مهمة، طور جون بيرد (Jon Bird) و باول ليزل (Paul Layzell)، من جامعة سيسكس (Sussex University) دائرة تنتج إشارة تذبذبية بدون استخدام ساعة داخلية (بيرد و ليزل، 2002 م Bird and Layzell،). ومرة أخرى، لقد كانت النتائج مذهلة. فالدارة طورت مُسْتَقْبِل موجات من الصفر، الذي تمكن من إلتقاط إشارة الساعة من سطح مكتب الحاسوب المجاور. فالحواسيب تنتج موجات كهرومغناطيسية، وهي كما يبدو في هذه الحالة تحتوي

على معلومات عن إشارة الساعة، والتطور الذي استغل ذلك. وهذا أول مثال على التطور الاصطناعي الذي يطور وحدة استشعار جديدة (في هذه الحالة، استشعار إشارات المذياع) بذاته. على سبيل المثال، إذا طُورت الدوائر بالمحاكاة دون تضمين نموذج موجات كهرومغناطيسية، فإن هذه الطريقة بالتحديد لإستغلال البيئة ليست ممكنة إطلاقاً.

جميع هذه الأمثلة توضح كيف أن التطور وليس فقط تصميم الأشياء التي قد لا تخطر على بالنا، ولكنها تستغل البيئة لإنجاز العمل. تذكر في الفصل الثالث أن إحدى أهم قدرات الكائنات الذكية هي قدرتها على استغلال البيئة (الإستجابة) لكي تُنتج أنواعا مختلفة من السلوك (التنوع). يميل التطور الاصطناعي إلى إنتاج أجهزة بهذه الخاصية، وهكذا تثبت صحة فكرة الإستجابة والتنوع: وتبدو "سرقة" الإشارات من آلة أخرى خدعة ذكية جدا. لذا يأمل الكثيرون في هذا المجال أنه كلما تعلمنا تطوير أجهزة أكثر تعقيدا، سوف تزداد هذه الخدع عدداً وتطوراً، حتى نصبح في يوم من الأيام قادرين على تحقيق التصميم الأتوماتيكي للكائن الذكي الحقيقي. وربما عندها سوف نتمكن من تعلم الشيء الكثير عن الذكاء بشكل عام

— وليس فقط الذكاء البيولوجي — في خلال هذه الرحلة.

6.5 الروبوتات التطورية

إذا كانت العمليات الحاسوبيةالتطورية مماثلة في فائدتها لأداة التصميم، لماذا لا نستخدمها ليس فقط لتطوير الأنابيب، والدارات الكهربائية، وبرامج الحاسوب، بل أيضا لتطوير روبوتات وكائنات متكاملة؟ وفي نهاية المطاف، فإن الطبيعة ساهمت في إنتاج كائنات متكاملة وطبيعية، وربما قد نستطيع أن نعيد إنتاج هذا العمل الفذ في نظام إصطناعي. وعلى أى حال، فإن المنهج الأساسي حتى الآن طّور كائنات غير متكاملة وتمكن فقط من إنتاج أجزاء من كائنات. والصيغة المعتادة، التي مازال يتبعها أكثر الناس (على الرغم من أن فكرة علم الروبوتات التطورية موجودة منذ 1990 م)، هي أخذ الروبوت ذو التركيب الثابت مثل سوني ايبو (Sony AIBO) و ولتطوير بناء نظام التحكم، الذي (Khepera)، خبرا يعتمد على لوغاريتمات الشبكة العصبية (نولفي و فلورانوو، Nolfi and Floreano). 2004م ويعتبر دور التطور في عملية التصميم محدود جداً في معظم الحالات، لأن هيكل الشبكة العصبية عادة ثابت والذي يتطور هو قوة الرابط بين الخلايا العصبية التى تتم

محاكاتها. وبإيجاز، عادة يتم الإجراء كالآتي: كل جينوم إستُخدِم ليُعَيِّن أوزان للتشابكات العصبية الاصطناعية في شبكة الخلايا العصبية للروبوت؛ ويسمح للروبوت بأن يمارس سلوكا ما لبعض الوقت، مثل المشي؛ ثم يتم تقييم جَودَة هذا السلوك أتوماتيكياً باستخدام دالة المطابقة، مثل مدى المسافة التي يقطعها؛ وأفضل الجينوم يتم إختيارها في إعادة الإنتاج ليتم تهجين وتحوير الجينوم، من خلال التبادل التقاطعي؛ بينما يستبعد الباقي؛ ثم يتم تقييم الجينوم وتُكرّر الدورة مرة أخرى.

بغض النظر عن الدور المحدود للتطور في هذه الحالة، فقد أثبت هذا المنهج نجاحه، فأسلوب الشبكات العصبية يمكنها مباشرة أن تستخدم للتحكم في الروبوت. ويمكن تتبع أصول الروبوتات التطورية إلى المجموعة البريطانية من ضمنها فل هازبند (Phil Husbands) وانمان هارفي (Harvey Inman) من جامعة سيسكس؛ والمجموعة الإيطالية بما فيهم ستيفانو نولفي (Stefano Nolfi) من مجلس الأبحاث الوطني (National Research Council) في روما؛ وداريو فلورينو (Dario Floreano) وفرانسيسكو موندادا (Francesco Mondada)، وكلاهما من كلية لوزان الفيدرالية (École Polytechnique

في سويسرا Fédérale de Lausanne) (EPFL). ومنذ ذلك الحين، أصبحت جامعة سيسكس و EPFL مركزاً لعلم الروبوتات التطورية، وانضمت إليها العديد من المختبرات. وتذكر شعار" انصرم التصميم — وبدأت التطورية: Design is out—evolution is in " وهذا يؤكد حقيقة أن التطور الاصطناعي هو بحد ذاته أداة تصميم — أداة هندسية — فعالة في حد ذاتها وليس فقط نسخة من تطور بيولوجي معتمدة على حاسوب.

وهكذا، لأننا ركزنا على التحكم في البناء — والشبكات العصبية — بدا أن علم الروبوتات التطورية يشابه، نوعاً ما، الذكاء الاصطناعي التقليدي، الذي ركز بقوة على الدماغ. إحدى المشكلات الأساسية في الذكاء الاصطناعي التقليدي هي أن الباحثين في هذا المجال لم يدرسوا التجسيد لأنهم، ببساطة لم يَلِمُّوا بعلمه. وفي نهاية المطاف، جادلوا، بأن الذكاء حاسوبي، لذلك فإن الذكاء لابد وأن يكون متمركزا في بناء التحكم. وبالطبع، فإن التطور الطبيعي لا يعمل هكذا. فالتطور لايبدأ بجسد ثابت ثم بعد ذلك يُطَوَّر له أدمغة؛ عوضا عن ذلك، يتطور الإثنين معاً، الدماغ والجسد وبمرور الزمن. وتعد القدرة على تطوير البنية التركيبية والتحكم العصبي معاً أمراً

مهماً جداً للنظم الاصطناعية إذا أردنا أن نستغل القوة والطاقة الكاملة للتطور. وسوف يفرض (التحكم التطوري: evolving control) قيود قوية وغير ضرورية على نوع الكائنات الناتجة لأن التركيب البنيوي يتم تحديده من خلال المصمم، وهكذا تبقى العملية التطورية متحيزة. بشكل عام، إذا أردنا دراسة طريقة تفاعل التركيب البنيوي، والمواد، والتحكم، وتفاعل النظام – البيئي وما يساهم في سلوك الكائن، يكون تطور كامل الأعضاء الجسدية، بالطبع، ضرورياً.

نعتقد أن أحد الأسباب وراء تردد الباحثين، لمدة طويلة، عن تطوير الدماغ والجسد معاً هو إتساع مساحة التصميم بشكل كبير. وحتى ندرك بعض أبعاد هذا الموضوع، دعونا ننظر بإيجاز الي كيفية تشفير معلومات "دماغ" وجسد الكائن في الجينوم الاصطناعي. وكما رأينا في البرنامج الخاص بتحسين شكل الأنبوب ليصبح في الوضع الأمثل، فإن الجينوم يتكون من (أوامر الدفع/ السحب: push/pull commands) أدت إلى تشكيل هيئة الأنبوب بالصورة النهائية. وإذا أردنا تطوير جهاز التحكم لروبوت يسير على أربعة أرجل، فإن ما يمكن أن يُشَفَّر في الجينوم هو قيم أوزان الروابط في شبكة الخلايا العصبية. والآن، دعونا نلقي الضوء على

قيم هذه الأرقام. إذا كانت لديك شبكة عصبية متصلة بالكامل وبها100 عقدة —— وحقاً إنه دماغ صغير —— إذن لديك 10,000 رابط أو 10,000 (عوامل متغيرة: parameters) لابد التعامل معها في آن واحد في هذه المشكلة المعقدة للحصول على الحل الأمثل. وحتى إذا طورت قيم هذه الأوزان، فإن إيجاد حل جيد في (الفضاء البحثي الشاسع: massive search space) يعتبر في الأصل مشكلة جديرة بالإهتمام. وما نعنيه بالحل الأمثل هو شبكة خلايا عصبية تسمح للروبوت المتضمنة به بأن يؤدي مهمة معينة، مثل الوصول إلى هدف بمكان معين (مثل موقع محطة الشحن)، والركض على أرض غير مستوية، والسباحة في ماء، أو السيطرة على قطعة من" الطعام " (على شكل كرة أو مكعب) في منافسه مع روبوتات أخرى. و إذا أردنا أن نطور جسد الروبوت والشبكة العصبية الدماغية في ذات الوقت، فإن الفضاء البحثي بلا شك سيكون شاسعاً. ولكن اتضح أنه بغض النظر عن هذا الأمر، من الممكن تطوير روبوتات جيدة إذا قمنا بالعملية التطورية بشكل صحيح. وقد حدث الإستعراض الأول في مجال غير متوقع: (الرسوم المتحركة الحاسوبية: computer animation).

6.6 (الشكل الجسدي والتحكم التطوري: Evolving Morphology and Control)

كان كارل سيمز (Karl Sims)، الذي درس كلا من (رسومات الحاسوب: computer graphics) و(علوم الحياة: life sciences) في (إم آي تي: MIT)، أول من جعل التطور الاصطناعي يعمل على أجسام وأدمغة الكائن في وقت واحد (سيمز، ب، 1994م، Sims أ). وهكذا، فإنه لم يشفر فقط الدماغ في الجينوم بطريقة ما، وإنما أدخل التركيب البنيوي ومظهر الكائن أيضاً. ومنذ ذلك الوقت، طور سيمز (ومعظم الباحثون) روبوتات افتراضية صلبة مصنوعة من عدد من المواد والأجسام الجامدة والقطع، كالأسطوانة والمستطيل الصلب، متصلة مع بعضها بمفاصل. أمثلة لبعض العوامل المتغيرة لمثل هذا النظام تتضمن الطول، والعرض، والإرتفاع للقطع، ولأنواع المفاصل التي تكون متصلة به (كمفصل الركبة أو الكتف)، وأنواع المشغلات المؤثرة (مثل، مدى القوة التي يمكن أن تطبَّق على زوايا مختلفة)، وأنواع أجهزة الاستشعار (مثل، اللمس، والسمع، والبصر، والأذنين) ومواضعهم على الجسد وغير ذلك. تضمن نظام سيمز عوامل متغيرة مشابه للنظام المذكورة أعلاه. وعلاوة على ذلك، داخل الجسد

فإن التطور يمكن أن يبني شبكات الخلايا العصبية التى تصل بين الاستشعارات والمشغلات. ولقد سمحت الطريقة التي شفَّر بها سيمز هذه المعلومات بتكرار أجزاء من الجسد: على سبيل المثال، الساق المكونة من ثلاث قطع يمكن تكرارها بمناطق أخرى في جسد الكائن. عندما أجرى سيمز برنامجه على (آلة الإرتباط: Machine Connection) وهو حاسوب قوي جداً له (64000 معالج، صنع في بداية عام1990 م)، معظم الكائنات الإبتدائية لم تتمكن من الحركة، أو أنها انتفضت لبرهة فقط. و مع مرور الزمن، ظهرت كائنات روبوتية مذهلة.

في هذه الحالة فإن النمط الظاهري، أو (الكائن المتحرك: functioning agent)، تم إختباره في محاكاة فعلية فيزيائياً، من خلال برنامج يحدد كيفية تأثير حركة الكائن على البيئة وبالعكس. كانت دالة التطابق في بعض التجارب توضح مدى سرعة الكائن على الأرض، أو السباحة في الماء، أوالمنافسة مع كائن آخر. ولقد تم إستبعاد الأفراد الرديئين وإختيار الأفراد الأفضلين، تم تهجينهم، و خلال التبادل التقاطعي لتشكيل الجينوم لنسلهم. وهذه الدورة للتقييم، والإختيار، والتبادل التقاطعي يتم تكرارها حتى يظهر كائناً مثيراً، مضحكاً أو فعَّالاً.

والآن، ما الذي نستطيع تعلمه من كائنات سيمز؟ أولا، لقد بينوا أنه من الممكن أن نطور البنية التركيبية ونظام التحكم التركيب معا في الكائنات الافتراضية. ثانيا، أنه من الممتع مشاهدة هذه الروبوتات وكثيراً ما تقوم بحركات مبتكرة قد لا نكون مستعدين للتفكير بها. على سبيل المثال، كانت أحدى الكائنات سريعة جدا وتتحرك نحو الأمام بينما ينقلب بإستمرار: ولم يكن هناك عقابً للشعور بالدوار! ثالثا، كمية العمليات الحسابية المطلوبة هائلة، لأننا لا نطور فقط نظام تحكم الخلايا العصبية الدماغية ولكننا أيضاً نطور التركيب البنيوي: ويتطلب ذلك اختبار الآلاف و الآلاف الكائنات قبل أن يظهر منها سلوكاً معتبراً. وبالإضافة إلى ذلك، لأن الكائنات تمت محاكاتها بطريقة فيزيائية واقعية، فإن تقييم كل الكائن على حدة يستغرق زمناً طويلاً.

وبالرغم من أن العمليات التطورية استخدمت لتصميم الكائن، وكثيرا من جسد الكائن ودماغه يمكن تغييره تطوريا ، إلا أنه مازال هناك الكثير من التحيز في التصميم: كل المخلوقات تتكون من أجزاء متصلة ببعضها البعض بأنواع مختلفة من المفاصل، يتصل بها إستشعار ومشغلات معينة. جميع هذه العناصر يمكن أن تتغير وتتكرر وترتبط بطرق مختلفة مما تختلف أحجامها،

وهكذا. ولكن الأجزاء ذاتها تتشابة في أساسها، حيث أن جميع كائنات سيمز لها ذات (المظهر المتكتل: blocky appearance)، وذلك ببساطة لأن سيمز إختار أن يعمل بوحدات بناء مستطيلة الشكل من مادة صلبة. و ما يحققه التطور سوف يبقى دائما مقيدا بقرارات المصمم. القصور الآخر في نهج سيمز هو أن البيئة ليس لها أي تأثير على نمو الكائن: لذا ينتج الجينوم دائما ذات الكائن، مهما كانت البيئة التي نما فيها. وكما ناقشنا سابقا، فإن البيئة وبالتأكيد لابد أن تؤخذ في الإعتبار أثناء تطورالكائنات . وبدون التفاعل مع البيئة فإن التطور لن يعمل جيدا. وسوف نناقش العلاقة بين النمو والتطور بتفصيل أكثر في هذا الفصل لاحقا.

إنه لأمر مثير أن نلاحظ بأن سيمز، مع تجربته في التطور الاصطناعي، أن يعرِّف اتجاها جديدا في الرسوم المتحركة الحاسوبية. وبناء على الطريقة التى تتم بها نمذجة (العمليات الفيزيائية التحتية: underlying physical processes)، تستطيع الكائنات الإستجابة مع بيئتها، عوضا من تنفيذ أنماط حركية محدودة. لاحظ أن ذلك يجعلهم أتوماتيكياً متكيفين: فعندما يخفض الكائن قدمه أثناء سيره، فإن القدم ستتوقف عندما تلامس الأرض، دون الإهتمام إلى إرتفاع الأرض.

وإذا كانت حركة القدم مبرمجة، فإن على المبرمج أن يقرر أين يجب أن تتوقف القدم لكل نوعية من الأرض يستطيع الكائن أن يسير عليها.

لاحقا و بعد مضي ست سنين، قام المهندس هود ليبسون (Hod Lipson) وعالم الحاسوب جوردن بولاك (Jordan Pollack)، كلاهما في جامعة براندي (Brandeis University)، بتدشين مشروع جولم (Golem)، الذي يعيد إنتاج تجربة سيمز، ولكن بتحوير إضافي. بينما في نهج سيمز تم كل شيء بالمحاكاة، فإن ليبسون و بولاك (Lipson and Pollack) أنتجوا، بشكل أتوماتيكي، نسخاً فيزيائية من الكائنات التي تمت محاكاتها تطوريا (ليبسون وبولاك، 2000 م، Lipson and Pollack). ومع ذلك فإن العملية بأكملها لم تكن أتوماتيكية تماما لأن المحركات، والوحدات الالكترونية، والبطاريات كان لابد من وضعها يدويا. ولقد اجتذب المشروع انتباه الإعلام بشكل كبير لأن الكثير من الصحفيين إعتبروا هذا المشروع على أنه "الروبوت" الأول، و الطابعة الثلاثية الأبعاد (وهي في الحقيقة ليس بروبوت)، التي إستطاعت صناعة روبوتً آخر ذاتي ودون تدخل الإنسان، وبذلك أعطوا انطباعا (خاطئا كلياً) بولادة أول روبوت منتج ذاتياً. ولسنا بحاجة

إلى التنويه، أن الضجيج الإعلامي إستحوذ على مخيلات العامة من الناس ودفع بهذا المشروع إلى الصفحات الأولى من جريدة نيويورك تايمز (New York Times) في 13 أغسطس 2000م. ولكن بغض النظر عن التقدم في هذا العمل، من المنظور العلمي فإنه لم يساهم كثيراً في الإجابة عن الإستفسار عن الطريقة المثلى التى يُستخدم بها التطور أوتماتيكيا لينتج روبوتاً، لأن العملية التطورية بأكملها ـــ بما فيها من تقييم الكائنـــ مازالت تطبق من خلال المحاكاة، ولا توجد أية ردود فعل من الروبوت الفيزيائي الفعلي تجاه العملية التطورية.

6.7 الشبكات الجينية التنظيمية والمرونة التطويرية:

(Genetic Regulatory Networks and Developmental Plasticity)

كيف يمكننا أن نقلل من تحيز المصمم الناتج من تحديد المواصفات مسبقا لهذه الأنواع من التراكيب ـــ أجزاء غير مرنة بارتفاع، وعمق، وعرضـــ لتتطور إلى كائنات؟ ومرة أخرى نستطيع إستخلاص الإجابة مما تلهمنا إياه الطبيعة. هناك تقريبا من خمسة إلى خمسة عشر مليونا من فصائل المخلوقات المختلفة، والتى لها

أشكال متنوعة لاحصر لها. هذا التنوع ممكنٌ من ناحية لأن الخلايا صغيرة جداً مقارنة بالكائن الحي ذاته، ومن ناحية أخرى هناك أنواع مختلفة من الخلايا. فكلما كانت (الخلايا) التي ينشأ منها الكائن الحي أصغر، كلما كان أقل تقيدا: خذ فقط عددا كافيا من الخلايا وتستطيع أن تبني افتراضياً أي شكل. ولكن كثرة عدد الخلايا ليست كافية: لابد من وجود أنواع مختلفة تسمح بتعدد الوظائف. و في جسد الإنسان توجد العديد من التركيبات الوظيفية: كل عضو من أعضائنا (مثل الكبد، والكلى، والعين، والأنف، والدماغ وغيره) مُكَوَّن من العديد من أنواع الأنسجة المختلفة، وكل نوع من الأنسجة بدوره مكون من أنواع عديدة من الخلايا.

و كما نعلم، فإن الكائن الحي يتطور من خلية واحدة (أو الزيجوت zygote: تسمى اللاقحة)، إلى أن يصبح كائننا حيا راشداً. وهذا يحدث في الأنظمة الطبيعية عن طريق عملية انشطار الخلية — الذي يؤدي إلى زيادة عدد الخلايا — و تباين الخلية — الذي يؤدي إلى زيادة في عدد أنواع الخلايا —وكلتا العمليتين يتم التحكم فيهما بواسطة الكائن الحي البيولوجي بواسطة الشبكات الجينية التنظيمية. ويؤكد مصطلح الشبكات الجينية التنظيمية (genetic regulatory network) على أن

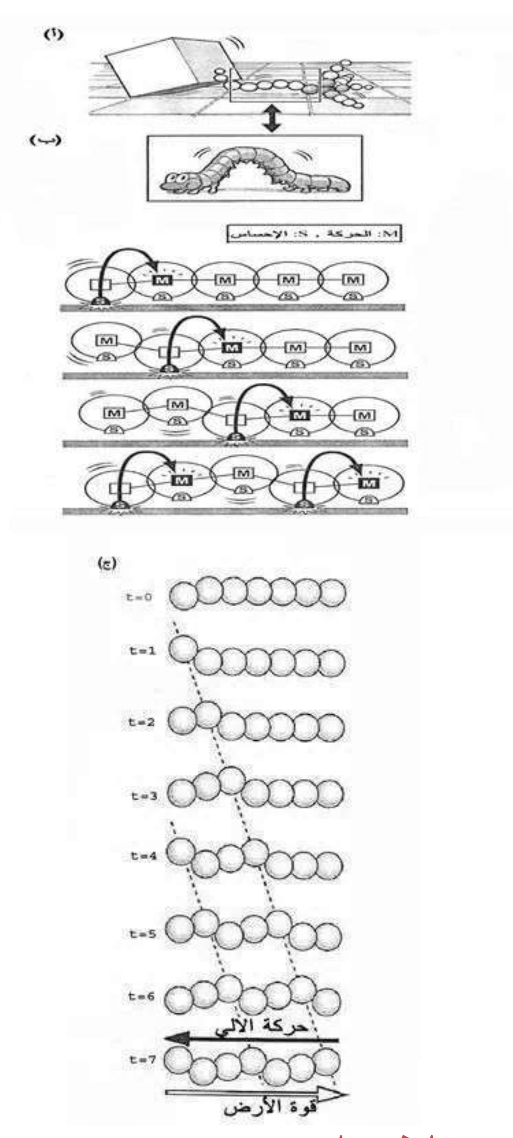
الجينات لا تعمل بمفردها وإنما بتفاعلها مع بعضها البعض مستخدمة اشارة كيميائية إرشادية للنمو. وبالمقارنة مع الشبكات العصبية الدماغية (neural networks)، والتي تؤثر فيها الخلايا العصبية الدماغية على سلوك بعضها البعض من خلال مسارات الاتصال المباشر، وعبر نقاط التشابكات العصبية، بينما في الشبكات الجينية التنظيمية تكون مسارات الاتصالات غير مباشرة، من خلال البروتينات، التي تنتجها الجينات والتي تستطيع أن تؤثر في نشاط الجينات الأخرى.

هذه الأفكار ألهمت الطبيب والعالم الفيزيائي بيتر إيجينبيرجر هوتز (Peter Eggenberger Hotz)، المفكر المبدع في مختبر الذكاء الاصطناعي في زيورخ، الذي دمج فهمه لعلم الأحياء الخلوية (cell biology) والتدريب الطبي مع الخبرة في (نمذجة الرياضيات المنهجية: formal mathematical modeling). ولقد كانت إحدى أفكاره الأولية أن "ينمِّي" الكائنات الحيوية إصطناعياً بالمحاكاة وتقليد الوظيفة الحيوية للشبكات الجينية التنظيمية. ولقد برهن أن نموذجه يستطيع، حقاً، أن ينمِّي تقريباً أي شكل (ايجينبيرجر، 1997 م، 1999م، Eggenberger). وبتناول فكرة ايجينبرجر، استخدم جوش بونغارد (أحد

مؤلفي الكتاب) تقنيات مشابهة لكنه تبَحَّر فيها أكثر إلى حد أنه تمكن من أن ينمي كائنات افتراضية. كائنات بونغارد لم تكن ببساطة مجرد أشكال، وإنما أشكال تستطيع التَّحرُّك والتفاعل مع بيئتها الافتراضية. ويتشابه نهج ايبجينبيرجر و بونغارد مع نهج سيمز في أن كلا منها يتكون من وحدات بناء أساسية، وأن النمط الظاهري يتم اختباره في محاكاة حقيقية فيزيائياً، ولكن تصميم النظام التطوري الاصطناعي وطريقة نمو الكائنات الحية تختلف بشكل أساسي.

الفكرة الأساسية كالتالي (للمزيد من المعلومات، انظر (بونغارد وفايفر، Bongard and 2001م Pfeifer) أو (بونغارد، 2002م، 2003م Bongard). لنفترض أننا نريد أن ننمِّي كائنات لمهمة معينة، مثل دفع كتلة كبيرة — إذا سنلقِّب هذه الكائنات "دافعي الكتل". الخطة الأساسية دائما هي ذاتها. لكل دورة من اللوغاريتم، عدد من الكائنات الافتراضية تتطور لتصبح أفضل في دفع الكتلة الكبيرة في بيئتهم. ويحدد تكيُّف الكائن كالتالي. أولا، تحقن اللاقحة الافتراضية (الزيجوت) — وهي جسم كروي يحمل مجموعة الجينات الوراثية — بقليل من المواد الكيميائية الافتراضية. تتفاعل المادة الكيميائية مع بعض الجينات في الجينوم،

فتحولها إما نشطة عاملة أو مغلقة غير عاملة. عندما تكون الجينات نشطة عاملة، فإنها تنتج مواد كيميائية مختلفة والتي بدورها تحوِّل جينات أخرى إما إلى نشطة عاملة أو مغلقة غير عاملة، وهكذا. لكن بعض هذه المواد الكيميائية، على أي حال، لا تؤثر فقط على الجينات وإنما تؤثر أيضاً على نمو الكائنات: قد تكون المواد الكيميائية السبب في نمو حجم الجسم الكروي الأولي وانشطاره، أو قد تكون السبب في تغير المفصل الذي يرتبط بواسطته جسمان كرويان، أو قد تسبب في نمو الخلايا العصبية الدماغية و التشابكات العصبية داخل الأجسام الكروية، وهكذا. توجه الشبكة الجينية التنظيمية بشكل أساسي تطوير الكائن أثناء سلوكه في بيئته الافتراضية. وبشكل هام، فإن هذا يسمح للبيئة بأن تؤثر في نمو الكائن، خلافا لمنهج سيمز. بمجرد أن ينمو الكائن ويكون له سلوكٌ لمدة من الزمن، تكيُّفه ـــ أي المسافة التي يدفعها للكتلة ـــ تُسَجَّل. وهكذا فإن الاختيار، و التهجين، و التبادل التقاطعي يتشابه بشكل أساسي كما شرحنا ذلك سابقا. ويوضح شكل أ 3. 6 مثال لدافع كتلة تطوَّر.



الشكل: 3. 6:

نشوء الحركة: دافع الكتلة (أ) دافع الكتلة الحقيقي (ب) حركة الدودة الشبارة (inchworm) هي حركة دافع الكتلة. جهاز الاستشعار الحسي، س :S، في الخلية المجاورة. في أي وقت (M :في خلية واحدة متصل بالمحرك (م والذي (M :يلامس الأرض، فإنه على التوالي يشغِّل المحرك (م (S :(س وهذا يعكس عملية .(S :بالتالي سوف يرفع الخلية المحتوية على(س الانتشار خلال الكائن بأكمله ويسبب سلوك الحركة. (ج) يذكر نمط الحركة بكيفية تحرك الدودة: تنطلق موجات خلال جسم الحيوان بأكمله فتحركه نحو الأمام.

يحتوي عمل سيمز، على رابط مباشر جداً بين الطراز العرقي الجيني ويشمل الكروموسوم، الذي تخزن فيه معلومات عن الكائن، وبين النمط الفيزيائي، الذي يمثل الكائن ذاته. وتوجد في جينومات سيمز معلومات واضحة حول تركيب الكائن، مثل كم عدد أجزاء جسم الكائن وما هو حجم الجسم الذي لابد أن يكون عليه. ولكن في حالة دافعي الكتلة عند بونغارد تختلف الحالة. حيث تؤثر الجينات ببساطة في نمو الكائن، وشكله النهائي المنبثق من هذه العملية. وهذا أكثر انسجاما مع التطور الحيوي، الذي تنمو فيه الكائنات الحية تجاوباً مع العمليات الديناميكية التى تحدث بداخل خلاياها، كما يتم توجيهها من قِبَل الجينات. وتشابه آخر بين جميع "خلايا" دوافع الكتل هو إحتوائها على نسخة من الجينوم: في الواقع، إن الأجسام الكروية التي تكون جسم دافع الكتل ما هي إلا نظير تقريبي للخلايا الحيوية البيولوجية.

وكما أشرنا سابقا، إذا تمت محاكاة التطوير بهذه الطريقة، فإن البيئة سوف تؤثر في نمو الكائن الحي. وهذا التأثير معروف جدا في الأنظمة الحيوية. فعلى سبيل المثال، إن النظام البصري لا يتطور إذا لم يكن هناك ضوء، وإن العظام لن تنمو بشكل سليم، غالبا، في حالة أن الجاذبية الأرضية تساوي الصفر.

وبالمثل، إذا تمت محاكاة دافعي الكتلة التطوريين في بيئة تفتقر للجاذبية الأرضية، فإنها سوف تتطور بشكل مختلف. وهذا يخبرنا بأن الجاذبية الأرضية دائما تلعب دورا في نمو الكائنات. وحتى يؤخذ هذا التأثير البيئي بعين الاعتبار، وسع بونغارد نطاق نموذجه بحيث أنه في أي وقت يلامس الكائن شيئا ما، أوعندما تتحرك أحدى المفاصل، فإن المادة الكيميائية المحاكاة تبدأ في الإنتشار

نحو الخارج من المفصل الذي تحرك أو من النقطة في الجسد التى حدث عندها لمس الكائن. هذه المادة الكيميائية، مثل بقية منتجات الجينات الأخرى في النظام، تستطيع أن تؤثر على نشاط الجين. سواء كان الجين يتطور ليستجيب لهذه المادة الكيميائية أم لا فإنه إنبثق وترك للتطور الاصطناعي. ولقد وجد بونغارد في معظم تجاربه، أن الكائنات إزدادت حساسيتها نحو تلك الإشارات البيئية عبر التطور الزمني، مشيرا إلى أن التطور الاصطناعي في الواقع يستغل البيئة عندما يُعطى الفرصة.

في يوم جميل في صيف عام 2000 م، و في مختبر زيورخ قرر بونغارد أن يذهب مع بعض رفقائه في وقت الظهر ليحتسي بعض المشروبات. وفور إنتهائه من تطبيق نظامه، كان مرهقاً، ليراقب ما يمكن أن يحدث في بعض تجاربه في المحاكاة في مختبره. وتحول ظهر يوم جميل في زيورخ إلى مساء جميل في زيورخ، و لسبب ما أو لآخر، لم يحضر الباحثون إلى المختبر في ذلك اليوم. ولكن عند عودة بونغارد في صباح اليوم التالي وجد مفاجأة مذهلة: كائنات بأجسام غريبة تطورت لتدفع وتلتقط الأجسام المحيطة في بيئتها؛ إذن التطور الاصطناعي يعمل! أتذكر، أنا (رولف) أن بونغارد

استدعاني إلى مكتبه للمراقبة: ولقد شاهدت شيئاً يصعب تصديقه، واقترحت عليه أن نستدعي بعضا من رفقائنا من قسم الأحياء، عالم الأحياء التطويري أيرنست هيفن (Ernst Hafen) ورفيقه ميكاييل ليفاين (Michael Levine)، الزائر من جامعة كاليفورنيا بيركيلي في ذلك الوقت. كلا الباحثين خبيران في تطور ذبابة الفاكهة (fruit fly) المسماة الندى (Drosophila)، وكيف أن الجينات توجه نمو الكائنات الحية بصفة عامة. ولقد إستعرضنا لهم نتائج محاكاتنا، وأدليا بدهشتهما لحدوث شيء مثل هذا. وهكذا، استطاع بونغارد، بنظامه التطويري أن يصل إلى إكتشافٍ مماثلٍ في تأثيره مثل كائنات سيمز أو ليبسون، ولكن نظامه كان أشمل وأقوى. قام بونغارد بأنواع مختلفة من التجارب المتعلقة بنظامه، و في كل الحالات، فإن التفاعل مع البيئة نوعا ما يحدد شكل تطوير الكائن. إذن فما هو كامن يبدوا إفتراضياً وهارفيي (Husbands) لامحدودا. وربما كان هزبندز (Harvey) محقين في قولهم:" انصرم التصميم — وبدأت التطورية ".

بالرغم من أن نماذجهم الأساسية بسيطة جدا – أكثر، بكثير من التطور الحيوي – فإن الميكانيكيات التى طبَّقها

بونغارد أنتجت مجموعة من الكائنات المثيرة، وبعض النتائج المذهلة. واليكم بعض التأملات بشأنها:

1. الكائنات الحية في تطورها البدائي عادة تكون أصغر في حجمها من تلك التي تليها في الأجيال اللاحقة: التطور "أكتشف" أنه لكي تدفع كتلة كبيرة، فإنه من الضروري أن يكون هناك جسم كبير ليبذل قوة كافية. وبمعنى آخر، أن التطور لا بد وأن ينتج التركيب البنيوي القادر على أداء المهمة التى من أجلها أتى. فالكائنات الحية الصغيرة غير مؤهلة لهذه المهمة بكفاءة وهي تخسر المنافسة أمام قريناتها من الكائنات الكبرى في الحجم.

2. لم يؤدّ التطور إلى كائنات مُخَلَّقة لديها فقط القدرة على دفع الكتلة، بل أيضاً قادرة على التحرك. فالكائنات الصغيرة المُخَلَّقة تميل إلى إحتواء تركيبات عصبية، ومع الجسد الموجودة به، فإنها تعطي زيادة في ردة الفعل الموضعية تؤدي الي تَحرُّك الجسد بأكمله. وبهذا فإنهما في الواقع يمثلان نموذجاً للتصميم الزهيد: حيث لا يوجد تحكُّم عصبي مركزي؛ إن "الخلايا" المنفردة تتواصل موضعيا مع جاراتها من خلال البيئة. وذلك يذكرنا بحركة سير الحشرات، حيث يتم تحقيق حركة تناسق القدم من خلال التفاعل مع البيئة كما شرحنا ذلك في الفصل الرابع. ولمزيد من التفصيل عن الميكانيكية التطورية انظر الشكل 3. 6. ويرشدنا (هيكل التحكم التوزيعي distributed control architecture) إلى نموذج حركة الدودة الشبارة، و مرة أخرى، تتطابق حالة الجذب (لنظام الجسد - العصبي المركب: system neural - body) لقد تطور جسد ودماغ الكائن، أثناء التفاعل مع البيئة، عبر الزمن ينشأ نمط ثابت لينتج بعض السلوك المفيد، الذي هو في هذه الحالة الحركة. وهذا أيضا مثال آخر على العمليات الحاسوبية للشكل الجسدي، وعلى كيفية استغلال التفاعل مع البيئة للحركة. إذن "يكتشف" التطورالاصطناعي التصميم الزهيد، الذي يضيف صلاحية لمبدأ التصميم ويعرض أن استغلال التفاعل مع النظام – البيئي يعتبر أمراً طبيعياً ليس فقاط للتطور الحيوي بل أيضا للتطور الاصطناعي. وهذا بالطبع مثال واضح لمبدأ العمليات المتوازية والضعيفة الترابط.

3. في وقت لاحق، أنتجت هذه الكائنات المتحركة نسلاً أكبر في الحجم وأقل حركة. وعوضاً عن ذلك، فإنها تمتلك لياقة عالية و جيدة في مد أعضائها الثانوية الطويلة من مكان جلوسها ودفعها للكتلة. لكن، هذه الكائنات لديها أعضاء شبيهة بتلك التي لدى أسلافها: أطراف الأجيال تحتوي على تركيبات عصبية شبيهة بتلك التي لدى أسلافها. وهذا مثال على ما يسمى (التكيف في علم الأحياء: أي استخدام التكيف الخارجي (exaptation:الخارجي للتركيبات الحية في الوظيفة الجديدة. في هذه الحالة كانت الأطراف الطويلة هي التركيبات المتوفرة، والوظيفة الأصلية كانت الحركة (كما تم تحديده من خلال التطور)، والوظيفة الجديدة هي الدفع (أيضاً تم تحديدها من خلال التطور). ونظرا لأن هذه الكائنات كانت من صنع التطورالاصطناعي وتطوُّر الوجود الجيني، فإنها في بعض الأحيان، متوازنة بيئياً لأداء مهمتها البيئية، أي لدفع الكتل الكبيرة. هذه بلا شك، ليست مهمة معقدة جداً في البيئة المحيطة المخصصة، ولكن لا توجد كتلة دماغية للكائن أو أجزاء غير مستخدمة. أيضا، جميع الكائنات تستغل الجاذبية الأرضية والاحتكاك لتمارس القوة ضد الكتلة فتدفعها.

4. لا توجد علاقة مباشرة بين حجم الجينوم — أو عدد الجينات — وبين حجم وتعقيد الكائن الراشد. فعلى سبيل المثال، يُستبدل الكائن الصغير الذي يتحرك نحو الكتلة بكائن أكبر حجما تم تطويره ويستطيع دفع الكتلة ببساطة بأطرافه الطويلة. قد نتوقع أن جينات أكثر عددا ستكون مطلوبة لتنمية كائنات أكبر حجماً وأكثر تعقيداً، ولكن المفاجأة الكبرى، هي أن عدد الجينات في الكائنات الأكبر كانت تقريباً مساوية لتلك التي في الكائنات الأصغر منها. ومفاجأة أخرى مشابهة بانتظار العالم عندما أعلن (مشروع مجموعة العوامل الوراثية البشرية: Human Genome Project) — وهو مشروع عالمي يطلق لفك لغز الجينوم أو ما يسمى بالعوامل الوراثية البشرية — والذي أعلن عنه في عام 2003م، و أن هناك حقاً عدد أقل من الجينات عما هو متوقع. وإن أفضل التوقعات حددت عدد الجينات بحوالي 100000 ولكن التقدير الأحدث يحددها ما بين 20000 إلى 25000 جين في الجينوم الإنساني. ويبدو الآن أن تعقيد الكائن الحي يعود سببه إلى التفاعل بين الجينات، وليس من عددها. وذلك لأن التطوير يتم الإسترشاد

فيه من خلال الشبكات الجينية التنظيمية، ذات السلوك الغني بالتعقيد والذي يعتمد على تفاعل الجينات، حتى الأعداد الصغيرة فإنه يمكنها إنتاج تعقيد هائل. أيضاً، بسبب هذه الديناميكية، لا توجد (علاقة واحدة – إلى - واحدة: one - to - one correspondence) بين الجين وجزء من الكائن.

على سبيل المثال: السمكة الكروية المنتفخة المعروفة بإسم (Fugu rubripes) لها ذات العدد من الجينات التي في الإنسان، ولكنها أبسط بكثير في تركيبها. ومن الواضح أن السمكة الكروية ليست بذكاء الإنسان لأننا نأكلها وليس العكس (السمكة الكروية المنتفخة طعام ياباني شهي ودقيق يسمى فوجو (fugu)، وهو غذاء إذا لم يُعَد جيداً فإنه يؤدي إلى الموت الفوري وذلك لأن الأجزاء السامة في جسم هذا السمك مميتة أكثر بألف مرة من كمية متساوية لها من السيانيد!). ومثال آخر هي الدودة المسطحة التي يطلق عليها (flatworm) (Caenorhabditiselegans)، أو (C. elegans)، وهي تحتوي تقريباً على نفس العدد من الجينات التي لدى الإنسان، ولكن بينما نمتلك 100 بليون (10^{11}) خلية دماغية عصبية، فإن الدودة المسطحة المسكينة لديها فقط 302 خلية دماغية عصبية. وحيث أن الاكتشافات الحديثة تؤكد أن الكائنات الحية المختلفة تتشابه كثيراً في المجموعات الجينية، ولكن تفاعل هذه المجموعات مع بعضها لدى الإنسان يختلف كثيراً عن تفاعلها لدى فصائل المخلوقات، وقد بدأ علماء الأحياء يركزون ليس فقط على دراسة وحدات الجين بل على (شبكات الجين: gene networks). بمعنى آخر، معظم الأبحاث تحاول الآن اكتشاف أي من الجينات تنظم الجينات الأخرى، بدلا من فقط محاولة شرح كيف يؤثر الجين المفرد على نمو الكائن الحي ذاته.

دعونا نعود إلى الدماغ الإنساني ذو 100 بليون خلية دماغية عصبية، وهي أكبر بنية معقدة في الكون. فقد أشار عالم الأعصاب جيراد إيدلمان (Gerald Edelman)، الحائز على جائزة نوبل، إلى حقيقة مدهشة وهي أن الجينوم البشري صغير جدا لتشفير تركيب الدماغ بأكمله. بمعنى آخر، أن المعلومات المحتواة في الجينوم ليست كافية لتشفير جميع الخلايا

الدماغية العصبية ومساراتها إلى الخلايا الدماغية العصبية الأخرى. إذن، كيف أمكن للدماغ أن ينشأ ويتطور من البداية؟ الإجابة هي أن ماتم تشفيره في الدماغ ليس متعلقاً إلى حد كبير بتركيبة الدماغ، ولكن على الأرجح بعمليات النمو التي، مرة أخرى، يمكن أن يتم تكوين نموذجً لها بواسطة الشبكات الجينية التنظيمية. (ايدلمان، 1987م ،Edelman).

5. وكما أشرنا سابقاً، فإن بعض دافعي الكتل تُظهِر تخصصا وظيفيا، أي أن "الخلايا" تتباين في أشكالها، وتحتوي على ذات النوع من التركيب (مثال، فقط الاستشعارات الحسية، فقط الاستشعارات والمشغلات، الخلايا الدماغية العصبية، والمشغلات أو تكون فارغة تماما، وغيره) (انظر الشكل 3. 6 لبعض الأمثلة). عادة، يحتوي دافع الكتلة أينما وجد على اثنين إلى ثمانية أنواع من "الخلايا". مقارنة بالآلاف من أنواع الخلايا البشرية، فإن ثمانية أنواع من الخلايا ليس مثيراً للإهتمام، ومع ذلك فإن دافعي الكتل يظهروا أولى آثار تباين الخلايا.

6. بعض دافعي الكتل منظمة بشكل هرمي: مثل البشر الذين لهم يدان وفي كل يد خمسة أصابع متشابهة، فإن بعض دافعي الكتل لديها بعض "الأطراف" المتشابهة: مثال، خلية مع إستشعارات في أطرافها، تليها خلية مع إستشعارات ومشغلات، وهكذا. في يد الإنسان، وأيضاً في دافعي الكتل، فإن التراكيب المتكررة غير متطابقة: اذ تختلف الأصابع عن بعضها البعض، وفي دافعي الكتل نادرا ماتحتوى الأطراف على أنماط متطابقة من "الخلايا". بالطبع الخطوة التالية هو أن نتساءل عن كيفية حدوث هذا. يبدو أنه يوجد في دافعي الكتل، على الأقل، القليل من الجينات التي تنظم الكثير من الجينات الأخرى. عندما تنشط هذه الجينات، فإنها تسبب في اختلافات كبيرة تؤدي إلى زيادة التركيبات الكبيرة، كالأطراف. إذن في أي مكان من الجسد تنشط فيه هذه "الجينات الرئيسية التنظيمية: master regulatory genes" أطراف مشابهة تبدأ بالظهور. شوهدت الجينات التنظيمية الرئيسية التي، لأول مرة في الكائنات الحية عام 1994م، تعرف بـجينات هوكس (Hox) (كرملوف، 1994 م ،Krumlauf). أما كيف تعمل وكيف تتطور جينات هوكس فهو موضوع بحث ثري، وينبئ بأنه في المستقبل، قد يساعد هذا

المنهج في التطور الاصطناعي على فهم كيفية تطور (الشبكات الجينية الحيوية: biological genetic networks).

7. أخيراً، من المهم ملاحظة أنه ليس نمو أجسام دافعي الكتل الذي يتأثر بالبيئة، ولكن أدمغتهم تتأثر هي كذلك. وهذا ما نلاحظه أيضا في الكائنات الحية، كما وضحت ذلك مجموعة التجارب المثيرة التي أجراها (فون ميلميلتشنر وآخرون، von Melchner et al) 2000 م الذي عرض أنه إذا اتصلت الأعصاب البصرية في عيون حيوان ابن مقرض (ferret)، وهوحيوان صغير شبيه بابن عرس، باللحاء السمعي، فإن اللحاء السمعي سوف يُطور تدريجيا تمثيلات توجد عادة في النظام البصري. النتيجة التي استنتجها فون ميلميلتشنر ورفاقه هي أن المنبهات البصرية من البيئة تغير طريقة نمو اللحاء السمعي، التي تستقبل المعلومات المدخلة، عن طريق قناة الإبصار. وهذا يعرض ليس فقط مرونة النظام العصبي، بل أيضاً كيف يتشكل تطورها جراء التفاعل مع البيئة. والسبب في أن هذه النقطة مهمة هو أنها تُظهر كيف يمكن أن نكون قادرين على البحث في التعلم التطوري. وحقيقة أن "أدمغة" دافعي الكتل تتغير أثناء تجاوبها مع الإشارات التي تستقبلها من البيئة يسمح لنا، كمراقبين، أن نقول بأن دافعي الكتل تتعلم.

8. 6 التنظيم الذاتي: القوة التضامنية بين الاختيار والتهجين

إحدى المناقشات الجدلية الرئيسية التي طُرحت ضد التطور هو السؤال عن كيفية تطوُّر التركيبات المعقدة منذ البداية مثل أعين الثدييات. حيث تتكون العين من العديد من الأجزاء المعتمدة على بعضها البعض، وإذا فشل أي جزء منها عن عمله، فإن العين لا تعمل. إذن كيف يمكن للتطور ، الذي يعتمد على التهجين والاختيار العشوائي، أن ينتج الأجزاء الصحيحة، ويجمعها بطريقة صحيحة

في (Dawkins) حتى تتشكل العين؟ شرح داوكينز كتابه: إرتقاء القمة غير المحتملة (Climbing Mount Improbable)، بالتفصيل أنه إذا أخذنا الاختيار التراكمي (cumulative selection): بعين الاعتبار فإنه من الممكن أن نفسر وجود العين عن طريق تطوير متسلسل لعيون تزيد في التحسن، وكل مرحلة تتشكل فيها العين من خلال (الاختيارات العشوائية التراكمية accumulation of random mutations:)، من تركيب بسيط بدءا بملاحظة شدة الضوء وانتهاءً بعين تلتقط صورة بشكل جلي. بمعنى آخر، يوجد مسار متدرج، خلال الكثير من التركيبات الوسيطة، حتى تتكون عين ذات وظائف متكاملة. وبطريقة أخرى، يستطيع التطور ارتقاء" القمة غير المحتملة" من خلال الاختيار والتهجين العشوائي، ولا يتطلب ذلك استخدام مصمم ذكي. ولكن الطريقة التي يقوم فيها التهجين بتشكيل وتنظيم نمو الكائن الحي تلعب دورا مهما في هذه العملية: حيث يمكنهم إستغلال خصائص التنظيم الذاتي في العالم الحقيقي. لنسترجع القوى الدافعة الثلاث للتطور: الاختيار التراكمي، التنوع (مدعما بالتهجين)، والتنظيم الذاتي. لنلقي نظرة فاحصة عن كثب على العامل الثالث.

إحدى التركيبات الوسيطة نحو عين متكاملة، وتُحدث تقريباً، نوع من التَّكيُّس يتكون تحت العين عن طريق شرائح من الخلايا الشفافة ملئت بسائل نقي كالماء. هذا التركيب يعتبر الأثر الأولي لتكوين عدسة العين. السؤال يصبح إذن كيف يمكن لهذه العدسة أن تتكون من خلال العملية التطورية. بينما آلاف الخلايا تتعاون في هذه العملية، فإن تشكل التَّكيُّس تحت العين، يتطلب مشاركة عدد قليل جداً من الجينات؛ وبمعنى آخر، أن الجينات تطرد سلسة من العمليات الفيزيائية التي تسبب التشكل الذي يحدث تحت العين. وقد قام إيجينبيرجر هوتز (Eggenberger Hotz)، الذي تحدثنا عنه سابقا في هذا الفصل، بمحاكاة تظهر كيفية حدوث ذلك. فالفكرة في الواقع سهلة جداً بحيث أن التطور يعتمد على "الحليف القوي: powerful ally " أي على خصائص التنظيم الذاتي في العالم الحقيقي (ايجينبيرجر، 2003م، Eggenberger Hotz).

في محاكاته توجد طبقتان من الخلايا، كل منهما تحتوي على نوع واحد من الخلايا. تتصل الخلايا مع بعضها البعض بما يسمى (بالجزيئات الملتصقة: adhesion molecules). تحدد الجزيئات الملتصقة قدرة الخلايا على تماسكها وتفككها مع بعضها

البعض: فكلما كان أكبر تركيز الجزيئات الملتصقة على سطح الخلايا المجاورة، كلما كان التصاقها مع بعضها أقوى. لنتخيل الآن أن هناك جين في كل نوعين من الخلايا ينتج الجزيئات الملتصقة إذا كانت نشطة. والأكثر من ذلك أن تخيل أيضاً أن إشارات الزيادة أو النقصان المنتجة في الجزيئات قادرة على تنشيط هذه الجينات، لذلك فهي تنتج الجزيئات الملتصقة. ويمكنك أن تتصور أن الزيادة أو النقصان تكونت بواسطة بعض المصادر المتوفرة في البيئة، وأن تلك الجزيئات تنتشر مندفعة نحو الخارج من تلك المصادر. وبالقرب من المصدر فإن التركيز يصبح الأكثر ارتفاعاً، ويتلاشى مع زيادة بعد المسافة من المصدر. إذا كانت الإشارات الناتجة من الجزيئات تنشط الجينات المناسبة بحيث أنها تنتج الجزيئات الملتصقة، في طبقة واحدة، فإن الخلايا تتجاذب مع بعضها البعض؛ وبمعنى آخر، فإنها تتنافر عن بعضها البعض، ونتيجة لذلك يتكون التكيُّس. وكل ما يتوجب عمله في هذه الحالة هو أن الخلايا في الطبقتين المحتوية على الجينات تستجيب لإشارات الجزيء عن طريق إنتاج جزيئات ملتصقة (والتي عندئذ سوف تجذب الخلايا بشكل كبير معاً في إحدى الطبقات بينما تتنافر بعيدا عن بعضها في الطبقات الأخرى). إن الشكل المحدد للتَّكيُّس تحت

العين ينشأ من القوى الفيزيائية التى تحدث بين الخلايا. وهكذا، فإن الشكل المحدد للتَّكيُّس تحت العين لا يتم التحكم به مباشرة، ولكنه ينظم ذاته وفقاً للقوانين الفيزيائية. لاحظ أن هذه العملية تعمل بغض النظر عن عدد الخلايا: حتى لو كان هناك الآلاف منها، نستطيع أن نوظف ذات الإجراءات. فليس هناك حاجة إلى التحكم في كل خلية على حدة. في المرحلة الجينية، سيكون عدد بسيط من التهجينات فقط ضروريا لبدأ هذه العملية من التنظيم الذاتي لتشكل التَّكيُّس تحت العين.

هذا الاستخدام للقوى والمؤشرات الفيزيائية في البيئة، لعمليات التنظيم الذاتي، يذكرنا بقضية الإستجابة والتنوع: غالباً ما تستخدم الكائنات الذكية بيئتها المحيطة المخصصة لتحقق أهدافها، من غير إدراك أنها تعمل ذلك. ونحن لا ندعي أن الخلايا المنفردة ذكية، ولكننا مرة أخرى نرى أن الإستجابة ـــ استغلال البيئة ـــ يمكن أن يقود، تقريباً بسهولة، إلى حد ما لسلوك شيق. في هذه الحالة، السلوك هو تكوين التَّكيُّس، والذي يمكن أن يستخدم كعدسات، وبالتالي يكون له دور في تطور العيون.

ودعونا نلخص بإيجاز بعض النقاط الأساسية من هذا المثال. بعمل نموذج للتفاعل بين الشبكات الجينية

التنظيمية، الخلايا، وعلم الطبيعة أو الفيزياء ـــ فالتطور يمكن أن يقدم بسهولة حلولاً مثل الأعين أو الأجنحة ـــ ويمكننا بشكل ملحوظ أن نُحسِّن من قدرة التطور في التركيبات المعقدة، على الأقل في مجال التطورالاصطناعي. وبتأسيس اللوغاريتمات التطورية بهذه الطريقة، ربما نصبح قادرين على تطوير كائنات معقدة أكثر وذلك بإستخدام منهج نظامي واضح. وأخيرا، إنه ليس بنية الكائن الحي هي التى تُشفِّر في الجينوم وتستغل بالتطور. بدلا من ذلك، فإن التطور يضبط، الى حد ما، الطريقة التي تستجيب بها الجينات لبيئتها بحيث يمكن أن تستغل الفيزياء لمصلحة الكائن. مرة أخرى، لا يعرف التطور ولا الكائن الحي (وهو التَّكيُّس في هذه الحالة) شيئاً عن ذلك.

6.9 التطور الاصطناعي: أين نحن وإلى أين نتجه من هنا؟

عند محاكاة التطور الطبيعي، فإن الباحثين عليهم أن يضعوا عددا من الأفكار التجريدية: فعلى سبيل المثال، الجزيئات، الجينات، ونتاج الجينات تُمَثَّل بأعداد بدلا من عمل نموذج تفصيلي لها؛ سمات تركيب الكائن الحي تُمثَّل في مجموعة الجينوم (كما هو الحال في كائنات سيمز الإفتراضية) بدلا من عمليات النمو بحد ذاتها؛ ويحدد

الباحثون دالة التّطابق بدلا من جعل الكائنات تتزاوج وتتكاثر؛ غالبا لا يوجد فرق بين البنية الوراثية الجينية والصفات والأنماط الوراثية الظاهرة. وكما هو في مثال ؛ اذ تتناقص عمليات التطور" Methinks :"أنا أفكر البنيوي، إذا أمكن نمذجتها، إلى مبادئ أساسية ظاهرة (كما في مثال دافعي الكتل لبونغارد)؛ عادة يُنفَّذ (اختبار في المحاكاة ويغفل عن (fitness testing :التطابق العديد من التفاصيل الموجودة في العالم الحقيقي ؛ ويفترض توالد الأفراد أن يتم لأجيال متعاقبة. بمعنى أن هناك توالد متقطع؛ وهكذا.

على الرغم من كل هذه الأمثلة البسيطة التي شاهدناها، فقد أتى التطور الاصطناعي بأفكار إبداعية حقيقية، وإن الفكرة القديمة التي تنص على أن الحواسيب تستطيع أن تؤدي ما تُبَرمج به فقط، ثبت عدم صحتها. و الأطوار الاصطناعية أيضاً قادرة على منافسة الانسان في أداء مهام هندسية تصميمية معينة: فقط فكر NASA :في أنابيب ريتشنبيج و(هوائيات ناسا التي صممت بطريقة أوتوماتيكية (أو على antennas الأقل بصورة شبه أتوماتيكية) باستخدام المناهج التطورية. هكذا، فقد أصبحنا أقرب بخطوة من الوصول إلى هدف التصميم الأوتوماتيكي، بالذات إذا كانت الطرق

الأوتوماتيكية التصنيعية مثل التي تستخدم في تجارب ليبسون تم تطويرها أكثر. هذا مثير ولكن بالطبع أيضاً مخيف: بينما ليس لدينا مشكلة في جعل الآلات تقوم بالمجهودات التي تتطلب قوة عضلية، فإننا نعارض عاطفياً فكرة إستيلائها على المهمات الذهنية، التي تحتاج إلى ذكاء مثل تصميم الروبوت.

:يشعر (المتنبؤون بالمستقبل أو المستشرفون Futurists) أمثال راي كورزويل (Ray Kurzweil) وعدد من الشركات التكنولوجية، هانس موراڤيك (Hans Moravec) من جامعة كارنيج ميلون (Carnegie Mellon University) و بيل جوي (Bill Joy)، وهو مبرمج شجاع ومؤسس في شركة سن مايكروسيستم (Sun Microsystems)، يشعر أن قوة محاكاة التطور غير محدودة بسبب قانون مور (Moore’s law) الذي ينص على أنه كلما زادت قوة الكمبيوتر الحاسوبية، كلما كَبُر لدينا عدد الجماعات الافتراضية التي نستخدمها، وبذلك بإمكاننا أن نعطيها مدة لتطور أطول، فنحصل في النهاية على حلول أفضل. ولكن على أي حال، لقد رأينا ولعدة مرات حتى الآن أن القدرة الحسابية وحدها في كثير من الأوقات ليست بكافية لإنجاز السلوك الذكي، بل إن بعض التفاعل مع العالم

الحقيقي ضروري أيضاً. و هذا يطرح سؤالاً مهما وهو إلى أي حد نستطيع في الواقع أن نحاكي تفاعل الكائن مع البيئة بطريقة واقعية كافية لتقدم التطور الاصطناعي. وكما شاهدنا في مثال التكيُّس تحت العين حتى يظهر ويتكون، إنه يجب علينا أن نحاكي التجاذب بين الخلايا، وقدرة الجينات للاستجابة لإشارات الجزيئات. وهذا يعتبر تسؤال بحثيا مهم، ولكننا نشك في أن أحد الأسباب وراء عمل التطور في العالم الحقيقي بهذه الكيفية الجيدة هو الغنى اللا محدود المتوفر في البيئة الطبيعية: هناك دائماً شيئاً يمكن إستغلالهما. على سبيل المثال، يمكن أن يُستخدم الهواء من قبل الطيور لتبقى عالية، ومن قبل الأشجار لتنشر بذورها فوق المساحات الواسعة، ومن قبل الحيوانات والإنسان لإنتقال وإذاعة الصوت. فقط تفكَّر في عدد الطرق التى يمكن بها إستغلال الماء من قبل الكائنات الحية المختلفة! فإذا لم تتم محاكاة الماء والهواء في محاكاة الروبوتات التطورية، فعندها لن يكون هناك كائن إصطناعي تطوري لإستخدامها. ولقد شاهدنا القليل من قوة التطور الاصطناعي عندما سُمح له بالعمل في العالم الحقيقي، فعلى سبيل المثال، في تجارب تومسون (Thompson) لتطوير الدارات الكهربائية بإستخدام (FGPAs:فجباس و لازيل (Bird) أو في دراسة بيرد

التي تطور فيها جهاز الاستشعار الجديد إلى (Layzell) راديو.

ربما لابد من التركيز أكثر على العلاقة بين الكائنات الاصطناعية التطورية والعالم الحقيقي في المستقبل القريب من خلال العلاقة بين النظم الحاسوبية والمعامل الكيميائية. أحد الأمثلة على ذلك هو مشروع برمجة تطورالخلية الاصطناعية (Programmable Artificial Cell Evolution) وإختصاره (بيس: PACE)، وهو مشروع تشترك فيه دول متعددة تم دعمه من قبل الاتحاد الأوروبي بموجب مبادرة طويلة الأجل في مبادرة البحث الأساسي. الفكرة هي أن تطوير الكائنات في بيئة كيميائية للعالم الحقيقي الواقعي، بدلا من عالم المحاكاة.

تحتوي مختبرات (بيس) على مصفوفات الجزيئات السائلة المتقدمة، والتي هي عبارة عن (تنظيمات من الأنابيب الدقيقة:arrangements of tiny tubes) والتى يمكن التحكم بعملها الكترونيا حتى نؤثر على ردود الفعل الكيميائية بشكل دقيق. أطلق جون ميكاسكيل (John McCaskill)، المبدع والعقل المدبر ومؤسس مشروع (بيس)، الحاسوب الوراثي (DNA computing) للحامض النووي اسم آلة

الفكرة هي أن (Omega machine). أوميجا تستخدم آلة أوميجا لتطوير الخلايا الاصطناعية من الصفر. سوف يشغِّل اللوغاريتم التطوري الحاسوب، بينما تُنتج الجينات الوراثية – الخلايا الاصطناعية أو أسلافها – في مصفوفة الجزيئات السائلة، حيث يتم إختبار تطابقها أيضاً. ويكون تطابق الخلية الإصطناعية بشكل يستمر ويمتد حتى تستطيع مساندة وصيانة نفسها، أي لأي درجة تستطيع تأيِيض الطعام وما إذا كانت تستطيع إعادة إنتاجه أم لا. الهدف من ذلك هو صنع خلية مستقلة عن ال (نظام الحاسوبي الداعم: computational support system)، مدة زمن ويمكن إعتبار ذلك، التطور. ومهما كانت النتائجِ، فإنه بلا شك سوف يُعد إتباع طريق البحث هذا سبقاً مذهلا في موضوع التطور الاصطناعي.

بالرغم من أننا لم نتحدث بشكل مباشر في هذا الفصل عن الكيفية التي يمكن بها لأنظمتنا التطورية الاصطناعية أن تساعدنا في الحصول على معلومات حول التطور الحيوي، إلا أن هذا ممكن بالتأكيد. فعلى سبيل المثال، قد تساعد محاكاة ايجيبيرجر في المستقبل أن نفهم أكثر، ليس فقط كيف تتشكل التركيبات المعقدة لتتجاوب مع الإشارات البيئية والجينية، بل كيف أن التركيبات المعقدة،

مثل العين تطوَّرت في المقام الأول. إن الشكل 4. 6 يوضح كيف يمكن أن يساعدنا التطور الاصطناعي لتحسين فهمنا للتطور الحيوي، والكائنات الحية، وإنتاج الكائنات المتقدمة في المستقبل القريب، ولكنه توضيحً غير دقيق. كما يوضح بعض النتائج المستقبلية الممكنة من جراء دمج دراسة التطور الاصطناعي ودراسة طبيعة الذكاء. وماذا بعد ذلك؟

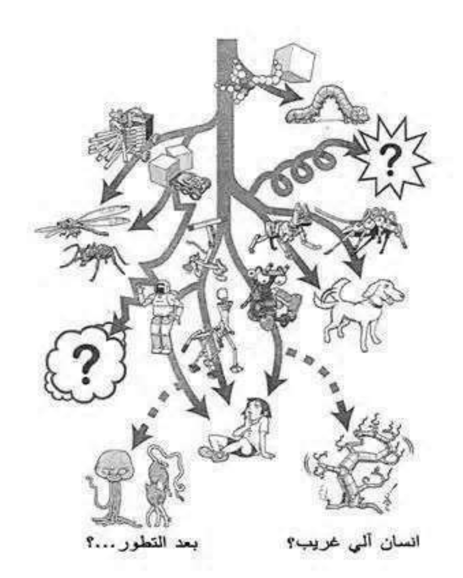
ملخص: مباديء التصميم للنظم التطورية 6 .10

لنلخص الآن المبادئ الأكثر أهمية لملاحظتها أثناء تصميم النظم التطور ية، و لكن أيضا أثناء تحليل الظاهرة الطبيعية المتعلقة بالعمليات التطورية.

أولاً: مبدأ المجموعات الكونية (Population principle)

يجب دائما أن نأخذ المجموعات الكونية بعين الاعتبار وليس الأفراد، لأن المجموعات الكونية تعتبر أكثر مصادر التطور رقيمة: إن نجاح أو فشل كائن واحد ليس مهما مقارنة بالتغيرات التطور ية الحاصلة على كامل المجموعات الكونية. ويجب أن لا ننسى أبدا بأن إبقاء التنوع في المجموعات الكونية شرط مسبقً للحفاظ على تكيفها وكذلك للتطور الكائنات المثيرة للاهتمام. لأنه اذا

كان جميع الافراد في المجوعات الكونية متماثيلين وكافة التغيرات البيئية متطابقة



الشكل4. 6:

التطور الاصطناعي: أين نحن وإلى أين نتجه من هنا؟ هذه الصور الكرتونية توضح، المسارات التطويرية الافتراضية لمستقبل التطور الاصطناعي. هل من الممكن أن يصبح شيء ما تطوريا مثل الروبوتات الحقيقية أو حتى كائنات مشابهة للبشر والحيوانات؟ أو هل سوف تقودنا إلى كائنات لم نرى حتى الآن لها مثيلا في الطبيعة ؟

عندئذ فإن جميع الكائنات قد تؤدي أعمالها بشكل سيء متساو، وعندها فإن العمليات التطورية لا تؤدي لأي نتيجة. أما إذا كان الافراد جميعهم مختلفين، فإن بعض الكائنات قد تؤدي عمل أفضل من غيرها في بيئتها الجديدة، ويستمر التطور. وهذا المبدأ يسمى مبدأ المجموعات الكونية (population principle).

ثانيا: مبدأ الاختيار التراكمي – التنظيم الذاتي (Cumulative selection–self - organization principle)

إن القوة الأساسية الدافعة وراء التطور هي الاختيار التراكمي، والتنظيم الذاتي. والتنوع (variation)، وحتى يعمل الاختيار التراكمي، فإن عملية إبقاء التنوع في المجوعات الكونية لابد من حدوثها. ولأن فرصة حدوث عدة تهجينات مفيدة في ذات الوقت بصورة قليلة جدا، فإحتمالية إنتاج نوع تركيبي جديد من البداية افتراضياً صفر، إلا إذا أخذت عمليات التنظيم الذاتي بعين الاعتبار أيضاً. لقد شاهدنا بعض الأمثلة، التي توضح كيف يعمل الاختيار، والتهجين، والتنظيم الذاتي مع بعضها البعض لننتج بنية جديدة، مثل التكيُّس الذي يحدث تحت العين كخطوة مهمة أولى في طريق العدسات التطورية لتصبح عيناً في النهاية. هذا هو مبدأ الاختيار التراكمي – التنظيم الذاتي (Cumulative selection–self - organization principle).

ثالثاً: مبدأ التطور المتوازي للدماغ و الجسد (Brain - body coevolution principle)

إن الجسم والدماغ لابد وأن يتطوران معاً، وهذا واضحً إذا نظرنا إلى وجهة نظر التجسيد. بينما من الواضح، أن التجسيد غالباً لا يؤخذ بالحسبان أثناء تطورالكائنات لأنه يزيد بشكل كبير من حجم (الفراغ البحثي: search space)، مقارنة مع تلك الحالة التي يطورفيها (جهاز تحكم الشبكة العصبية الدماغية: neural network controller)، ويطلق على هذا مبدأ التطور المتوازي للدماغ والجسد(brain - body coevolution principle). وبينما ينص هذا المبدأ على أن كلاً من الدماغ والجسد يجب أن يتطورا معاً، إلا أنه لا يحدد كيفية عمل ذلك. وهذا هو محتوى المبدأ التالي.

رابعاً: مبدأ التعقيد المتدرج (Scalable complexity principle)

يجب أن يدمج التطورالجيني ضمن عملية التطور الاصطناعي. أي بمعنى آخر، أن العمليات التطورية التي تؤدي الى تكوين الكائن النهائي، وليس تركيب الكائن ذاته، لابد أن تُمثَّل في الجينوم. وهذا أمر ليس مرغوباً فيه ولكنه ضروري إذا أردنا أن نُنَمِّي تركيبات معقدة حقيقية. وجميع هذه العمليات التطورية تُصاغ نموذجياً بشكل أفضل مثل الشبكات الجينية التنظيمية بسبب

عمومية مثل هذه الشبكات. كما أظهرت لنا الطبيعة خلال فترة التطور ، إن عددا كبيرا من التركيبات يمكن أن تتطور بهذه الطريقة. أيضاُ، وكما شاهدنا، فإن استخدام الشبكة الجينية التنظيمية يسمح لكائنات أكثر تعقيداً أن تتطور دون الحاجة إلى زيادة في عدد الجينات لعمل ذلك. ولهذا السبب، فإن مبدأ التصميم الرابع يطلق عليه مبدأ التعقيد المتدرج (complexity principle. scalable).

(خامسا: مبدأ التطور كعملية سيولة (أو مرونة (Evolution as a fluid process principle)

نعني بالسيولة (Fluid) أن الكائنات يجب أن تتكون من أعداد كبيرة من الوحدات مثل الخلايا، وأن التطور يجب أن يبنى بتعديلات بسيطة فقط عوضاً عن التعديلات الكبيرة. إذا تكون الكائن فقط من وحدات بنائية تركيبية قليلة، فإن تغير واحدة أو أكثر منها سيعرقلها بشكل كبير؛ ولكن إذا تكون الكائن من العديد من الوحدات البنائية التركيبية، فإن تغير بعض منها في مناطق مختلفة لن يؤثر على التطابق كثيراً، وقد يكون بعض التغير مفيد جداً. بنيت روبوتات سيمز من عشر من الوحدات البنائية التركيبية، وكائنات بونغارد من المئات، وكائنات

إيجينبيرجر من الآلاف. إذن فكلما زاد عدد الوحدات، كلما زادت المرونة في العملية التطورية. وبينما تتحسن تكنولوجيا المحاكاة وتزداد القوة الحاسوبية في المستقبل، لابد أن نكون قادرين على التلاعب بالكائنات المكونة من المئات والالآف بل الملايين من الوحدات البنائية التركيبية. وقد أطلقنا على هذا مصطلح مبدأ التطور كعملية سيولة (أو المرونة) (evolution as a fluid process principle).

سادسا: مبدأ التحيز الأدنى للمصمم (Minimal designer bias principle)

ينص المبدأ السادس والأخير على أنه يجب علينا أن نصمم بمقدار قليل داخل أنظمتنا وندع التطور يقوم لنا بمعظم العمل. فمن الواضح، أنه كلما قل تدخلنا وتحيزنا الأولي في التصميم، كلما كانت الحلول أكثر إدهاشا وابتكاراً. وكالعادة، إذا استطعنا أن نظهر بأن إحدى صفات الكائن إنبثقت من مقياس زمني آخر، فهذا ينشئ تطورا علميا. مثال ذلك، الكائنات التى تتعلم، أي التي يمكنها إستخدام (التعلم بإسلوب هيبيان :Hebbian learning) لتفعيل ارتباطات، قد تتطور عبر أجيال من كائنات غير متعلمة. وأخيراً، إذاً أستطعنا إيضاح أن التصميم الزهيد أو التوازن البيئي ينتج من التطور ، فإننا

نكون قد عززنا ووثقنا مبادئ التصميم. وهذا يطلق عليه مبدأ التحيز الأدنى للمصمم (bias principle minimal designer).

في هذا الفصل أكدنا على نقطة مهمة وهي أن المجوعات الكونية هامة جدا للتطور حتى يعمل. وفي الفصل الثاني سنتابع منظور المجموعات الكونية عن طريق مناقشة الذكاء التجميعي، واستكشاف مجموعات الكائنات التي ينشأ فيها السلوك الذكي من التفاعل بين الأفراد في المجوعات الكونية.

الفصل السابع
الذكاء التجيمعي: من التفاعل نحو الإدراك:

في المؤتمر الدولي السابع لأنظمة الذكاء الذاتية التحكم (Intelligent Autonomous Systems) في عام 2002 م، في الضاحية الجميلة في مدينة لوس (Marina del Rey) مارينا ديل ري إنجلوس (Los Angeles)، فاجأ المهندس الدنماركي الشاب كاسبر ستوي (Kasper Støy) جمهوره بعرض روبوتي لايمكن تصديقه. عرض أولاً، فيديو لروبوت مكون من عدة أجزاء يمكن أن يتحرك بشكل يشابه الأفعى إلى حد كبير. وهذا حتى الآن معقولً ـــ ولا تعد الروبوتات الثعبانية شيئا جديداً: إذ يعود ظهورها لعام 1972 م (أي منذ زمن طويل عند بداية علم الروبوتات) عندما طور شيجو هيروس (Shigeo Hirose) من معهد طوكيو للتكنولوجيا، الذي قدمناه في الفصل الثاني، الذي طوَّر الروبوت (آى سي إم – 3 :ACM - III) والمعروف أيضاً بإسم الروبوت الأفعى (SnakeBot)، وهو أول روبوت أفعى يعمل تماماً (هيروز، 1993م Hirose). ولكن الثعبان ليس هو كل ما أراد ستوي

عرضه: فبعدما ترك الأفعى تزحف لفترة، قام بالتقاطها وقسمها إلى جزأين من الوسط، ثم قام بوضع الجزأين ثانيةً على الأرض. وحينئذ، بدأ الجزئين الصغيران في التحرك كالأفعى الكبيرة تماماً! قد يبدو هذا مستحيلا إذا كنت متعوداً على نماذج التحكم المركزية التقليدية. ولقد انبهر الحاضرون كثيراً، على الرغم من أن التجربة لم تنته. وعندما جزَّأ الأفعى ثم ركب الأجزاء معاً لتقليد كائنً ذو أربع أرجل، بدأ بالمشي بطريقة محاكية لحيوان ذو أربع أرجل، فقد ترك المشاهدين أثناء المؤتمر في حالة ذهول.

ما أظهره ستوي في الحقيقة (لمزيد من التفاصيل انظر ستوي وآخرون، 2002م، 2003م) كان الروبوت المُركَّب ذو الوحدات: روبوت يتكون من عدد من الأجزاء يمكن ترتيبها بطرق مختلفة لتؤدي وظائف مختلفة. وكان عرضه برهاناً على أن الروبوتات المُركبة - وهو مجال الشهيرة (Cebot) تعود بدايته إلى تجربة سي بوت التي قام بها مهندس علم الروبوت توشيو فوكودا (Toshio Fukuda) من جامعة ناقويا باليابان (University of Nagoya) في ثمانينات القرن العشرين - والتى أثمرت نتائجها أخيراً.

عمل ستوي عدة سنواتٍ بجامعة جنوب كاليفورنيا قبل الذي كان (HYDRA) أن يلتحق بمشروع هايدرا مدعوماً من قبل الاتحاد الأوروبي، راعياً رسمياً له في جامعة جنوب الدنمرك (University of Southern Denmark). لهذا المشروع عنوان إستشرافي هو "الكتل البنيوية 'الحية' للصناعات اليدوية ذاتية التصميم: 'Living' building blocks for self - designing artifacts ". والسبب الذي دعا الباحثين - وعلى رأسهم الباحث الرئيسي هينرك لند (Henrik Lund)، لإستعارة هذا الاسم هو أنه إذا قطعت أجزاء كبيرة من الهيدرا (وهو حيوان بحري صغير جداً طوله بضعة مليمترات إلى 1 سم أو أكثر، مع قطر أقل من 1مم و فم محاط باللوامس) إلى عدة أجزاء فإنه يمكن لهذه الأجزاء أن تنمو مجدداً—— هذه الإستعارة جيدة وتمثل هذا النوع من البحث. وإسم الهيدرا مشتق من، الأفعى الشيطانية في الأسطورة الإغريقية التى لها عدة رؤوس وينمو لها رأسين كلما قُطِع لها رأس واحد. القوى المتجددة للهيدرا حقاً رائعة: حيث تُقَطَّع الهيدرا إلى قطع متعددة، وكل قطعة سوف تطوِّر حيوانا كاملا. وإذا كان بالإمكان إعادة إنتاج هذه الخدمة من (الإصلاح الذاتي: self - repair)، والتي تعتبر الهدف المجازي

لمشروع هيدرا، جزئياً في الذكاء الإصطناعي، فإن ذلك قد يمثل تقدماً متعدد الإتجاهات. وربما، في نقطة ما، فإن الروبوت هيدرا سوف يكون ممكناً، ولكننا حتى الآن لانزال بعيدين عن تحقيق هذا الهدف.

يمكن أن نعد سلوك الروبوت المركب الأصلي الذي بناه ستوي مثالاً على الذكاء التجميعي (collective intelligence): وفيه تتعاون عدة وحدات لتصل إلى نموذج سلوكي شامل (التحرك كالثعبان أو المشي على أربع أرجل). في هذه الحالة، يعود معنى (global:شامل) إلى سلوك الروبوت الكُلِّي، والذي يُعْتَبَر نتاج تفاعل بين الوحدات الفردية المختلفة وبيئاتها. ويعتبر علم الأحياء أحد مصادر إلهام (علم الروبوتات المُركَّبَة: modular robotics) من علم الأحياء. ففي الهيدرا، تتعاون الوحدات وهي خلايا فردية لتوليد السلوك. لا حاجة لأن نذكر، بأن للهيدرا خلايا أكثر بكثير من الوحدات التي تمتلكها روبوتات ستوي، ولكن المبدأ يظل ذاته في الحالتين، هذا من ناحية. ومن ناحية أخرى، فإن الكائنات الحية، بما في ذلك الهيدرا، محدودة بطريقة ما، في حين أن الروبوتات ليست محدودة بتلك الطريقة: إذ يمكن للروبوتات أن تتغير من هيئة إلى آخرى بتغيير طريقة إتصال وحداتها الفردية. أي؛ أنه بإمكانها

من ثعبان إلى كائن ذو أربع " mutate :"التحوُّر أرجل. وهكذا، قد يتمكن علم الروبوتات المركبة من البحث فيما لا يمكن أن يكون ممكناً في النظم البيولوجية وبصورة أخرى إستكشاف "الذكاء كما يمكن أن يكون:
intelligence as it could be ".

إن علم الروبوتات المركبة طريق واعد ومثير لاستغلال الذكاء التجميعي. وهناك خط آخر للتطوير في دراسات الذكاء التجميعي يتعامل مع الأنظمة وهو الوضع الذي تكون فيه المكونات الفردية كائنات متكاملة، وليس وحدات مستقلة. ويُطلق على مثل هذه الأنظمة في أغلب الأحيان: (أنظمة الكائنات المتعددة multiagent systems). والروبوتات السويسرية تُعد أحد الأمثلة عليها: وفي هذه الحالة تكون وحدات النظام التجميعي هي الروبوتات ذاتها.

في هذا الفصل سنقدم الآتي: أولاً سوف نوضح عدداً من الأسباب التى تشرح لماذا قد يخوض شخص ما في دراسة الذكاء التجميعي. وبعد ذلك سوف نناقش منهجية الكائنات المتعددة، بدءاً باستخدام (نمذجة في المحاكاة معتمدة على الكائن: modeling in simulation agent -based). ومن ثَمَ سنتطرق إلى مناقشة قصيرة نقارن فيها بين المحاكاة والروبوتات الحقيقية،

وهذا سوف يقودنا لمسح حقل الذكاء التجميعي الذي يُستخَدم فيه الروبوتات الحقيقية. وأيضاً سنناقش، بإيجاز، مسألة التعاون بين الكائنات والتي إتضح مؤخراً أنها مسألة مثيرة جداً للجدل. بعد ذلك سوف نتوسع في مجال الروبوتات المركبة ونأخذ مسألة (تغيير القياس: scalability) بعين الاعتبار. بمعنى آخر، ماذا سيحدث — وما الذي يمكن احتماله — إذا أصبح الجيل القادم من الروبوتات المركبة أصغر حجماً. وسنتابع الأسئلة التي أثارتها الهيدرا عن التركيب الذاتي والإصلاح الذاتي و نناقش ما يطلق عليه (موازنة التبادل - التجانس: trade - off homogeneity - heterogeneity). ثمَ سنتطرق، باختصار، إلى مسألة: (إعادة الإنتاج الذاتي self - reproduction)، وسنقدم دراسة حالة تفسر سلوك الروبوتات الحقيقية بطريقة على أنها روبوتات تعيد إنتاج ذاتها. وسوف نختم بتلخيص المفاهيم الرئيسية التي طُوِرت في هذا الفصل كمجموعة مبادئ تصميم الذكاء التجميعي. وقبل أن نبدأ، علينا أن نذكر أن هذا المجال، واسع جداً، بناء على ما اعتبرناه جزءاً من الذكاء التجميعي و الروبوتات المركبة، لذا كان لا بد لنا من

اختيار المواضيع الأكثر ارتباطاً هنا بأفكارنا حول الذكاء المجسد.

7.1 التحفيـــز

تحدثنا حتى الآن عن الكائنات كأفراد؛ وفي هذا الفصل سوف نستكشف إمكانيات الكائنات التي تعمل كمجموعات. وقد وضحنا من قبل أنه أثناء تعدد الكائنات وتعاونها تزداد القوة: فالتطور يتطلب دائماً جماعات كونية. لذا فعلى المستوى النظري، من المهم فهم السلوك في المجموعات، وليس فقط سلوك الأفراد في معزل.

الدافع الثاني لدراسة (ظواهرالتجميع collective phenomena) هو أنه مادام الأفراد يمكنهم التفاعل في مجموعات، فإنه يمكنهم عمل أشياء لا تستطيع الكائنات الفردية أن تقوم بها بمفردها. و كما رأينا في الفصل الثاني، على سبيل المثال، يستطيع النمل أن يجد أقصر طريق لمصدر الغذاء من خلال فرز فرمون أثناء بحثه عن مصدر الطعام وعودته إلى مقره، وكذلك تتبع الطريق الذي يوجد به التركيز الأعلى من الفرمون. هذه الآلية بسيطة جداً، لكنها تعمل فقط عند وجود العديد من النمل. إذ أن إيجاد الطريق الأقصر لمصدر الطعام بواسطة نملة واحدة فقط سوف يتطلب قدرات إدراكية كبيرة عالية (مثل الذاكرة ومقارنة المسافات) وكذلك نشاطات

ومقدرات إستكشافية، وتفوق قدرات وإمكانيات الكائن المنفرد. وبالمثل، هناك العديد من المهام التي لا يستطيع الكائن المنفرد تحقيقها فيزيائياً اعتماداً على ذاته فقط، ولكن من الممكن تحقيقها من قبل مجموعة: وبإمكان النمل، عندما يعمل معاً، أن يحمل أجساماً كبيرة مثل أوراق الشجر أو العيدان، وهو شيء لا يمكن أن تقوم به نملة منفردة.

يعتبر السلوك غير المبرمج جزءا هاما وساحرا من الذكاء التجميعي: فأنماط السلوك الشامل غير المبرمج توجد في الأفراد وتنشأ من تفاعلها. مثلاً، عملية تكوين خط سير النمل تنشأ مما يُطلق عليه (التفاعلات البيئية غير المباشرة: stigmergic interactions) كما ذكرنا في الفصل الثاني، يفرز النمل الفيرمون ويتبع أعلى تركيز. أي بمعنى آخر، إن النمل يتبع (قوانين محلية: local rules) تماماً، لكن بشكل تجميعي، وبتطبيق مجموعة الأفراد لهذه القوانين، يصبح باستطاعتهم إنجاز مهام معقدة بصورة مثلى— كإيجاد الطريق الأقصر بين مصدر الطعام والمسكن ——دون أن يدركوا أنهم يعملون ذلك. ويستخدم مصطلح (التنظيم الذاتي: self - organization) لوصف هذه الأنواع من العمليات لأنه لا التحكم الخارجي ولا (التحكم ذو المستويات

ولا التأثيرات ،(hierarchical control :المتعددة الموجهة مطلوبة لظهور الأنماط السلوكية الشاملة (كامازين وآخرون، Camazine et al.)، 2001م. وفي أغلب الأحوال، عندما يُستغل التنظيم الذاتي، تميل الحلول الناتجة لأن تكون أبسط و(أكثر فعالية: robust).

وسببً آخر لتفحص مجموعات الكائنات هو التكرار. فعلى سبيل المثال، إذا كان هناك روبوت واحد فقط أثناء الرحلة إلى كوكب المريخ وتحطم، فسوف تنتهي المهمة، بينما إذا كان هناك العديد من الروبوتات، فإن الروبوتات الأخرى يمكنها الإستمرار وإنجاز المهمة، مما يجعل إستخدام نهج الكائنات المتعددة أفضل وأكثر فعالية. أيضاً، في المهام الكثيرة قد يكون أكثر فعالية استخدام كائنات متعددة. إذا كانت هناك أرض كبيرة في المريخ تحتاج إلى مسح شامل للبحث عن نماذج صخرية مثيرة، فإن استخدام عدة روبوتات يغطي كل منها منطقة مختلفة سوف يُعَجِّل في إنجاز العملية بشكل هائل. وكمثال حيوي، يجمع النحل الطعام روتينيا بطريقة يُوزَع فيها العمل كلياً، بحيث تعمل مئات من النحل بشكل متوازٍ معاً. وهذا أكثر فعالية من وجود كائن واحد يقوم بعمليةً جمع الطعام في كل مرة. وفائدة أخرى لنهج الذكاء التجميعي هو أن

الكائنات الفردية يمكن أن تكون أبسط: عادة مجموعة من الكائنات البسيطة يمكن أن تؤدي العمل ذاته الذي يقوم به كائن معقد. وفي حالة تصنيعها فإن الروبوتات المتعددة سوف يكون إنتاجها أقل تكلفة.

لكن الذكاء التجميعي لا يقتصر على مجموعات من الأفراد: إذ يمكن أن نجده على مستويات أخرى وفي مجالات أخرى. مثلا، يمكن لمجموعة من الخلايا أن تتجمع لتكوين أعضاء، والأعضاء بدورها تكون كائنات متكاملة تستطيع أداء مهام لا تستطيع الخلايا الفردية أن تقوم بها بمفردها، مثل المشي بشكل دائري، أو الجري، أو الطيران أو السباحة. بالإضافة إلى ذلك، تستطيع الكائنات أيضا أن تتكيف بدرجة متزايدة من خلا مقدرتها على تغيير شكلها البنيوي: تستطيع السمكة المنتفخة المميتة فوجو (Fugu)، التي تحدثنا عنها في الفصل السابق، أن تنفخ نفسها لتخيف المهاجمين، وتستطيع الطيور أن تفرد أجنحتها إذا أرادت الطيران. وهكذا، فإن حافزاً آخر يدل على أهمية (علم الروبوتات التجميعية: collective robotics) والروبوتات المركبة — على وجه التحديد — هو أنه من خلال التغير البنيوي فإن مستوى التكيف يزداد بصورة جلية.

إن هدف علم الروبوتات المركبة هو تصميم وبناء روبوتات من عدة وحدات بحيث يكون الروبوت ككل قادرا على إنجاز أنواع مختلفة من المهام التي لا يستطيع الروبوت غيرالمُركَّب أن يقوم بِها. على سبيل المثال، أحد القدرات المدهشة للروبوتات المُركبة، كما رأينا في تجارب كاسبر ستوي، هي قدرتها على تغيير بنياتها وهيئتها؛ مثال ذلك، تستطيع (التشكُّل :morph) من ثعابين زاحفة إلى كائنات تمشي. كان حجم وحدات ستوي بين 5 - 10سم، والخلايا الحيوية أصغر بكثير من ذلك. إذنً في الوقت الحاضر، هذان النوعان من الأنظمة مختلفان جداً. ولكن، ذلك قد يتغير كلما أزداد صغر الوحدات من خلال التطور التقني، وبالذات تكنولوجيا النانو. فإذا صُنعت الروبوتات المُركبة من عدد أكبر بكثير من الوحدات في المستقبل، فإن إمكانيات التطبيق تصبح غير محدودة عملياً: سيكون بإمكانها أخذ أي شكل كان وتأدية مهام من الصعب في الوقت الحالي تخيلها (مثل حقنها إلى مجرى الدم لتنظيف الشرايين المسدودة).

النقطة الأخيرة التي نطرحها حول التحفيـز، وربما تكون واحدة من الرؤى الإستشرافية، تتعلق بالتصليح الذاتي وإعادة الإنتاج الذاتي. إن علم الروبوتات المركبة لايحاول فقط تطوير روبوتات من الوحدات يمكنها أن

تؤدي مهام متعددة، ولكن يحاول أيضا صنع روبوتات يمكنها أن تُصلِّح ذاتها، وهي خاصية تمتلكها الهيدرا إلى درجة مذهلة، وهذا كذلك أمر جليً في جميع الفصائل الحيوية. ويطوِّر الباحثون في هذا المجال أيضاً روبوتات قادرة على إعادة إنتاج ذاتها، وهي قدرة شائعة لدى أكثر الكائنات الحيوية الحية. وسيتطلب الإصلاح وإعادة الإنتاج الذاتي العديد من الخلايا أو الوحدات لإنجاز المهمة، وسوف نتحدث عن هذا لاحقاً. ودعونا الآن نعود إلى النمذجة المعتمدة على الكائن: modeling agent - based).

7.2 النمذجة المعتمدة على الكائن: (Agent - Based Modeling)

أنجز كلا من جوش إيبستين (Josh Epstein)، وروب اكستل (Rob Axtell)، التدريب الرسمي في الاقتصاد، والسياسة العامة (public policy)، و الحاسبات، ولقد إقترحا في كتابهما الصغير و المهم جداً: (بناء المجتمعات الإصطناعية: علم اجتماع من الأسفل إلى الأعلى:Building Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up)، استخدام منهج الحياة الإصطناعية في علم الاجتماع بصفة عامة، و دراسة الاقتصاد بشكل خاص. ولقد كانت

نتائج تجاربهم التي أجروها باستخدام "رزمة البرمجيات بعلم الإجتماع الرقمي: digital social science toolbox"، وهو نوع من المحاكاة بإستخدام النمذجة المعتمدة على الكائن، غالباً ما تثير الدهشة والفضول. وقد كانت أحد الدراسات في هذا الكتاب تعود إلى أحد أعضاء جامعة هارفارد المؤثرين في الاقتصاد توماس سي اسكيلينج (Thomas C. Schelling)، الذي اهتم في أواخر الستينات بموضوع (التفرقة العنصرية: racial segregation)، لأنها مسألة كانت ـــ ولاتزال قائمة ـــلم يتم علاجها جذرياً في العديد من بلاد العالم. وباستخدام رزمة برمجيات محاكاة النمذجة المعتمدة على الكائن، استطاع ايستين واكستل تعريف مرجعيات تفصيلية مختلفة لكائناتهم. تعيش الكائنات في شبكة (كونية لمصفوفات - عالمية عظمى grid - world) ثنائية الأبعاد، وتتبع فقط قانون محلي واحد للتفاعل: إذا تجاوز عدد الخلايا المجاورة من الألوان المختلفة (الأحمر بدلاً عن الأزرق) مستوى التفضيل لدى الكائن، يتحرك الكائن إلى خلية أخرى من هذه الشبكة الكونية ليحتل نقطة جديدة. في أحدى تجارب المحاكاة، افترضوا أن الأعضاء من الكائنات التي من جنس واحد تفضل أن تكون محاطة بكائنات متماثلة تبلغ على الأقل

25% من الخلايا المجاورة في الشبكة الكونية (لكن لم يهتموا بذلك، على سبيل المثال، إذا كان 70% من الكائنات المجاورة مختلفة). وحتى مع هذه الدرجة المعتدلة من التفضيل فإن المجتمع يصبح منعزلاً وعنصرياً إلى حد ما، بمعنى أن مناطق حمراء وزرقاء تبدأ في التكوين، ويصبح توزيع الكائنات بعيدا عن العشوائية. وعندما جعلوا الأفراد أقل تفاوتاً وافترضوا (توزيعاً موحداً :uniform distribution) للاختيارات المفضلة بين 25% و50% — بمعنى أن بعض الأفراد سوف يتنتقلون عندما تكون نسبة الكائنات المتجاورة المختلف ألوانها أكثر من 27%، وأخرى عندما جاوزوا 40% وغيره — حيث ينقسم المجتمع الى مساحات زرقاء وحمراء كبيرة جداً ومنعزلة. إن هذه النتائج تتحقق على الرغم من حقيقة أن الأفراد لايزالوا متفاوتين، إذا جاز لنا التعبير عن ذلك. إن ما يبدو مفاجئاً عن هذه النتائج هو أن وجود أفضلية معتدلة مثل أن لا يعيشوا في جوار محاط بالكامل من قبل مجموعات عرقية مختلفة أخرى سوف يؤدي إلى الإنعزال العنصري. وهكذا يبدو أن المجتمع بأكمله منعزل جداً، ولكن هذا الإنعزال ليس إنعكاساً عن مدى (صدق وإيمان الأفراد :beliefs of the individuals). وينشأ الإنعزال من قاعدة

سلوكية محلية بسيطة، أي أن القاعدة تأخذ فقط الكائنات المجاورة بشكل مباشر في الاعتبار. (للإطلاع على النموذج الاصلي، انظر سيكيلينج، 1969 Schelling؛ ولنسخة حديثة من النموذج أنظر ايبستين وأكستيل، Epstein and Axtell، 1969، ص: 165 - 171).

لاحظ أن القاعدة السلوكية للكائنات تجريدية بدرجة عالية ولا تأخذ في الاعتبار العمليات الإدراكية أو العمليات الحسية - الحركية، مما يشير إلى افتراضات ضمنية قوية عن كيفية تمثيل التفاعلات الاجتماعية. وبمعنى آخر، أنه مسلم به بناءً على هذه القاعدة تجاهل التفاصيل الخاصة بإدراك الكائن. معظم نماذج المحاكاة المعتمدة على الكائن مبنية على درجة عالية من (قوانين التفاعل الاجتماعي: social - interaction rules)، وهي بذلك تجرد عن كل تفاصيل التجسيد بما في ذلك الإدراك. وفي (نموذج التفاعل المهيمن: dominance interaction model) لشارلوت هيملرهجيك (Charlotte Hemelrijk) للثديات الاصطناعية، تفترض الباحثة وجود قاعدة تفاعل اجتماعي تسمى (قانون التفاعل المهيمن: dominance interaction rule)، وهو يزيد أو ينقص

قيمة هيمنة الأفراد بناء على مدى كسبهم أو خسارتهم في التفاعل المهيمن الحالي (أي بالمعركة). في العالم الحقيقي، يعد التفاعل المهيمن حدثاً اجتماعياً معقداً يتطلب مهارات حركية وإدراكية. والحقيقية التي تثير الاهتمام هي أنه بالرغم من هذه التجريدات، يمكننا إكتساب رؤى ومفاهيم رائعة: يبين (نموذج شيلنج: Schelling model) سهولة الإنعزالية التى قد تحدث في المجتمع؛ كما وقد أوضح (نموذج هيملرجيك: Hemelrijk's model) بأن الأفراد ذوو قيم مهيمنة عالية ينتهون في مركز فضائهم الحي، بينما يندفع الآخرون نحو الحواف، تماما مثل مجموعات الثديات الحقيقية (للتفاصيل، أنظر هيملريج، 2002م، Hemelrijk). وسوف يكون من الممتع أن نرى أي أنواع السلوكيات غير المبرمجة تنتج من المحاكاة في المستقبل (أو تجارب العالم الحقيقي) حيث تتم نمذجة القدرات الحسية - الحركية للكائنات، ولكن في الوقت الحاضر لازال البحث في هذا المجال نسبياً في بداياته.

تبرز إمكانية جاذبة أخرى أثناء دراسة المحاكاة المعتمدة على الكائن في دمجها مع الطرق التطورية. اقترح ايبستين واكستيل ما يطلق عليه (نموذج السكرالشاهق: Sugarscape model) وهو عالم

شبكي وفي نقاط الشبكة يوجد تركيز سكر وتتميز الكائنات بعاملين جينيين: الأول هو الرؤية (إلى أي مدى تستطيع أن ترى)، والثاني الأيض (كيف تحرق السكر بسرعة)، والحالة الراهنة تحدد بناء على كمية السكر المخزونة لديها. تتبع الكائنات قاعدة سلوكية سهلة: أنظر إلى نقطة الشبكة التي لها أعلى تركيز سكر في مجال الرؤيا، وتحرك نحو النقطة، واستهلك السكر (أضفه إلى المخزون). وكلما استطاعوا الرؤية إلى مدى أبعد، كلما ازدادت إمكانيات إيجاد تركيز السكر في منطقة أعلى، وإنخفض مستوى الأيض، بمعنى أنهم سيحرقون سكراً أقل. هناك أيضاً (قاعدة الجنس sex rule: والتي يمكن للكائنات بواسطتها أن تنتج وتنقل صفاتها الجينية أو الوراثية ــــ رؤية وأيض ــــ إلى نسلها.

لنفترض الآن أن هناك تغييرات موسمية في تركيز السكر. وكما يتوقع أي شخص، فإن الكائنات التي يمكنها أن ترى إلى مدى أبعد وأيضها أقل، لديها فرصة أكبر للبقاء. وهكذا، في المقياس الزمني التطوري ، سوف ينتشر الأفراد الذين لديهم رؤية عالية وأيض أقل، وهذا واضح جيداً. وإذا أضيفت قاعدة وراثية ــــ عندما تموت أحد الكائنات، يرث أبناءه سكرها بأجزاء متساوية ــــ والنتائج ستكون مدهشة حقاً: من خلال الوراثة، الضغط

الذي تم إختياره على العين انخفض، والأفراد ذوو الرؤية الضعيفة، بدون العوامل الوراثية، الذين لم تكن لديهم أي فرصة للبقاء تم إنتخابهم من خلال التطور وأصبح لديهم الآن إمكانية البقاء. وبذا نرى أن قانوناً اجتماعياً، مثل الوراثة، له تأثير على التطور البيولوجي. وهذه النتيجة، بالطبع، هي موضوع جدل سياسي ساخن. بناءً على ايبستاين وآكستل: "يعارض بعض الداروينيين الاجتماعيين تحويل الثروة إلى الفقراء لأنهم يرون أن عملية الضغط الانتقائي كاملةً "أفضل للمخلوقات". بالطبع لقد أخفقوا في إشارتهم بأن نقل الثروة عبر الأجيال من الأغنياء إلى أبنائهم يقلل نفس هذه الضغوطات." (ص: 68) والمحاكاة المعتمدة على الكائن تفتح المجال لإمكانية دراسة هذه المسائل، أي أن التفاعل بين التقاليد الاجتماعية و التطور البيولوجي، أمر لا يمكن دراسته بطريقة منظمة في العالم الحقيقي.

وكمثال أخير لهذا النوع من المحاكاة دعونا ننظر إلى سلوك أسراب الطيور. كان كريج رينولدز (Craig Reynolds) عالم الكمبيوتر المسحور بالطبيعة، طفلاً مأسورا بالأسئلة حول كيف تطير الطيور في أسراب. كما تشكل العديد من الحيوانات مثل الحشرات الطيور والأسماك أسراباً، وكذلك تفعل الثدييات (مثل الثور

الأمريكي والخيول البرية). لقد ابتكر رينولدز (Reynolds) وهو (boids) ما يُسمى البويدزات محاكاة بالحاسوب لكائنات تُكَوِّن أسراب (رينولدز، 1987م، Reynolds). شدد رينولدز على أن مصطلح بويدز ليس له علاقة بالطيور وأن البويدزات كائنات الكترونية مستقلة وليست مجرد تقليد لبعض الطيور الحقيقية المخلوقة. ومثل هذه الأحداث تتكرر عادة في مجتمع الذكاء الاصطناعي مما يجعل هذا النوع من الأبحاث أقل جاذبية. على الرغم من ذلك، فإن العلاقة مع علم الأحياء أو العالم الحقيقي المتضمنة في التعبير هي ما تجعل هذا العمل ساحراً فعلاً: وبصرف النظر عن الكيفية التي تطير بها البويدزات في محاكاة رينولدز، فإننا لا نستطيع التوقف عن أن نتسائل كيف يمكن للطيور الحقيقية أن تقوم بذلك في الواقع: وهل هي حقاً تفعل شيئاً مشابهاً للبويدز؟

تتحرك البويدزات حسب ثلاثة قوانين محلية بسيطة للتفاعل: تجنب الاصطدام (collision avoidance)، مطابقة السرعة أو التعديل (velocity matching or alignment)، وتمركز السرب (flock centering). تجنب الاصطدام يعني أن البويدزات يجب ألا تطير نحو بويدزات

أخرى، وبهذا يتولد هناك نوع من التنافر نحو الأجسام الأخرى المشابهة. تعدل البويدزات سرعتها لمطابقة متوسط سرعة جيرانها من البويدزات الأخرى، بمعنى إذا ازداد السرب من سرعته فإن البويدز سوف يسرع أيضاً ويبدأ في التحليق تقريبا في نفس الاتجاه كالآخرين. علاوة على ذلك، بالاستناد إلى موقع البويدزات الأخرى المجاورة فإن البويدزات سوف تتحرك محاولة الوصول نحو أعلى كثافة مجاورة (highest local density) لمجموعة البويدز. على أى حال، فقد كانت تجاربنا، وتجارب العديد من غيرنا ـــ اعتمادا على البيئة ـــ أن القوانين الثلاثة البسيطة تحتاج إلى بعض التعديل. مثلا، تنقسم الأسراب بسهولة عندما تكون هناك عوائق، وكذلك لابد من توفر سرعة ضمنية ـــ سرعة يمكنها استخدامها عندما لا تتوفر معلومات أخرى ـــ في النظام، وبدون ذلك، فإن السرب بأكمله قد لا يتحرك مطلقاً ويبقى بدلاً من ذلك في مكان واحد.

وبالرغم من أن قواعد رينولدز قد لاتشكل نماذج صحيحة لأسراب الطيور البيولوجية، فإن السلوك الناتج يبدو طبيعيا لدرجة أن لوغاريتماته المختلفة طبقت على نحو واسع في الصناعة الترفيهية لدرجة تجعل تقليد حركة مجموعات الحيوانات أو البشر تبدو طبيعية. ولقد

استخدمت في عدد من الأفلام لتمثيل نماذج لأسراب الحيوانات مثل: البطاريق في فيلم تيم برتون عودة باتمان وقطعان ، (Tim Burton’s Batman Returns) الحيوانات البرية وهي تتسابق في فيلم عَالَم ديزني الأسد الملك (Disney’s Lion King)، وأنواع مختلفة من أشكال الحياة البحرية التي تسبح سويةً كما في البحث عن ميمو (Finding Nemo).

تقدم لنا الأسراب أيضا حالة دراسة جديرة بالإهتمام عن الاختلافات بين الروبوتات الحقيقية والمحاكاة. لذا سنبحث هذه المسألة بشكل أوسع.

7.3 المحاكاة مقابل الروبوتات الحقيقية

هناك رأيين يمكن الأخذ بهما في الاعتبار في نظم المحاكاة المعتمدة على تقنية الكائن الذكي: المنظور الأول يتمركز حول التعلم الذاتي من البيئة والذي تكون فيه المعلومات الوحيدة التى يمكن إستشعارها للتحكم في سلوك الأفراد هي المعلومات التي يحصل عليها من البيئة المحيطة فقط؛ أما (منظور العين الثاقبة الناقدة (god’s - eye perspective: فيستطيع من خلالها المبرمج أن يستخدم معلومات شاملة. على سبيل المثال، في محاكاة بويدز يؤدي منظور التعلم الذاتي من البيئة المعلومات الوحيدة التى يمكن أن يحصل عليها كل أفراد

البويدز تكون من خلال أنظمتهم الاستشعارية الذاتية، بينما في منظور العين الثاقبة الناقدة، يستطيع المبرمج الوصول إلى معلومات عن سرعة ومواقع جميع الكائنات في ذات الوقت. وهذه المعلومات يمكن استخدامها بسهولة، لحساب قيمة (الكثافة المجاورة للكائنات: local densities of agents) في جوار فردً محددً، وهي معلومات ضرورية لتطبيق قوانين رينولدز (Reynolds's rules). لذا فإنه يُغنِي عن التصريح كون المنظور الثاني – وهو منظور العين الثاقبة الناقدة – يدعم المبرمج ويجعل مهمته أسهل، وفي الواقع معظم محاكاة البويدز تستفيد من المعلومات الشاملة. في حين أنه في المنظور الأول الذي يتمركز حول التعلم الذاتي من البيئة يجب محاكاة الاستشعار الحسي للأفراد؛ مثل كيف تبدو في نظر البويدز وفي حدود مداها البصري كيف تبدو البويدزات الأخرى. إن استنتاج سرعة البويدزات المجاورة من هذه المعلومات البصرية تعتبر حقاُ مهمة صعبة جداً.

للوهلة الأولى عندما يبدأ التعامل مع روبوتات حقيقية، يصبح الحصول على المعلومات الشاملة غير ممكن، إلا إذا كنت تملك تركيباً معقداً من نظم وأجهزة يمكن دمجها مثل استخدام كاميرا فوقية تراقب كل الروبوتات في

الميدان و برنامج خاص للرؤية لتحديد موقع كل روبوت على حدة (تُستخدم مثل هذه الترتيبات أحياناً في مباراة كرة قدم الروبوتات). أو إذا كنت تُجرِي تجربة في الفضاء الخارجي، فبإمكانك تزويد الروبوتات بتقنية توجيه المسار المعروفة بإسم (جي بي إس: GPS). ولكن العمل مع أنظمة إستشعار معلوماتية فقط يجعل الأمر أكثر تعقيداَ. وكذلك إذا كنت مهتماً بالأنظمة الطبيعية، فإن المنظور الوحيد الفعَال في هذه الحالة هو المنظور المتمركز حول التعلم الذاتي من البيئة: فالطيور الحقيقية ليس لها موجه مسار (جي بي إس). ولكن العمل مع معلومات الاستشعار المحلية قد يكون صعباً أيضاً. كيف ستقوم وأنت كائن مستقل، بتعديل سرعتك لتتوائم مع سرعة الكائنات المجاورة؟ كيف يمكنك معرفة إن كانوا يتحركون بشكل أسرع أو أبطء منك؟ كيف يمكنك معرفة بأي اتجاه يتحركون؟ بل كيف لك حتى أن تتعرف على الكائن المجاور؟ إن إستخلاص هذه المعلومات من أجهزة إستشعار وحدها، أو من النظام المرئي، يعتبر مهمة شاقة وصعبة كما أوضحنا ذلك عندما تحدثنا عن (إبصار الحاسوب: computer vision) في الفصل الثالث. إحدى الطرق الممكنة هي مقارنة الوضع النسبي للكائن في المجال البصري في نقطتين زمنيتين مختلفتين،

وتسجيل أي تغيرات مثلاً في الزمن والحركة مع أخذ تحركاتك الخاصة في الاعتبار خلال ذلك الوقت. ومرة أخرى إن هذه العملية يجب تطبيقها على جميع الكائنات المجاورة. ولكن أي من هذه الكائنات تعتبر مجاورة؟ توجد بالطبع بعض الحلول ولكنها جميعاً غير دقيقة وغير واضحة.

في مجال الكائنات المتعددة تبدو الحياة أسهل بكثير في المحاكاة. أولاً، بمقدورك إجراء تجارب للمدة التي ترغب بها، و بالعدد الذي تريده من الكائنات، ولست بحاجة للتعامل مع فوضى تفاعلات العالم الحقيقي مثل عدم وضوحية وتشويش الصور، والضوضاء على الإستشعارات والنظام الحركي، وحالات الإضاءة سريعة التغير، واستهلاك الطاقة، والأعطاب الميكانيكية، وحقيقة أن التجارب الفعلية تستهلك الوقت الطويل. إضافة إلى ذلك، يمكن إجراء دراسات تطورية من خلال المحاكاة، وهذا ممكن فقط في العالم الحقيقي بدرجة محدودة جداً، كما رأينا في الفصل السابق. ومن ناحية أخرى، كما ذكرنا مراراً أنه من السهل جداً أن نتجاوز التفاصيل في المحاكاة. من السهل تعريف " إجراء تفاعل الهيمنة: Do a dominance interaction " في المحاكاة، ولكن أداء ذلك في الروبوتات في العالم الحقيقي

صعبً. ما هي الإستشعارات التي تُستخدم؟ كيف يا تُرى تُميِّز الروبوتات بين بعضها البعض؟ على أي أساس معلوماتي تقرر الروبوتات الدخول في تفاعل الهيمنة؟ كيف تتفاعل الروبوتات؟ وما هي أطول مدة يستمر التفاعل؟ وماذا عن شحن البطارية؟ بوضوح، هنالك حاجة واضحة للعمل، على الأقل جزئيا، على روبوتات فعلية مجسدة حتى يتسنى لنا دراسة العلاقة بين العمليات الحسية - الحركية والذكاء التجميعي. لذا دعونا ننتقل الآن إلى الروبوتات الحقيقية.

7.4 مجموعات الروبوتات

في كل عام يقدم مركز الأعصاب في زيورخ عرضا يسمى "معرض الدماغ :"Brain Fair و تهدف هذه العروض بصفة عامة إلى توصيل أحدث الأبحاث في مجال علم الخلايا العصبية الدماغية إلى العامة من الناس. وهذا المركز يعتبر عملية ضخمة، تجمع ما لا يقل عن مئة مجموعة بحثية، بطريقة أو أخرى، تعمل في ذات المجال، ويتضمن ذلك (باحثي الدماغ brain: researchers)، الأطباء، والصيادلة، وعلماء النفس، وعلماء مختصين بعلم الخلايا العصبية الدماغية الحاسوبية، وأخيراً وليس آخراً الباحثون في الذكاء الاصطناعي وعلماء الروبوت الذين يستخدمون أفكاراً من

علم الخلايا العصبية الدماغية في تجاربهم. يشارك مختبر رولف للذكاء الاصطناعي في زيورخ في هذا الحدث بصورة دورية وعادةً ما نقدم عروضا روبوتية لشرح أفكار عن التجسيد. في عام 1999م في (معرض الدماغ: Brain Fair)، عرض هانسبتر كونز (Hanspeter Kunz) الفيزيائي وعالم الكمبيوتر الذي يدرس مع شارلوت هيميلريك (Charlotte Hemelrijk) ظاهرة السلوك غير المبرمج في مجموعات الروبوتات. فقد قدما تجربة عن أسراب الروبوتات بعرض مجموعة مكونة من عدد صغير من روبوتات الساموراي (Samurai robots) (حوالي ستة). وهي روبوتات دائرية بثلاث عجلات قطرها حوالي 30 سم وإرتفاعها 30سم، مدعمة بحلقة من استشعارات الأشعة تحت الحمراء، وكرت شبكة لاسلكية داخلية (LAN)، وكاميرا متعددة الاتجاهات تغطي مساحتها مجال الرؤية في نطاق 360 درجة. معظم الحيوانات، مثل الحشرات والأرانب تمتلك حوالي 360 درجة رؤية، وهذا الوضع البيولوجي يُسهل إجراء التجارب (البيولوجية الروبوتية: biorobotics). ولتوضيح مسألة الإطار المرجعي للزائرين، استعرض كونز معلومات من أحد الروبوتات على شاشة كبيرة حتى يتمكن جميع الموجودين من

رؤيتها: صور الكاميرا الأولية، درجات مختلفة من العمليات البصرية — إستنباط الحواف، واللون، والتعرف على الروبوتات الأخرى — حالة الشبكة العصبية التي تتحكم في الروبوت، والإشارات المرسلة إلى المحركات. وهذه طريقة جميلة لتوضيح كيف يبدو العالم من منظور الروبوتات، أي منظور التعلم الذاتي من البيئة. إضافة إلى ذلك، زود كل روبوت بنسخة من (قوانين رينولدز: Reynolds's rules).

لنصف بإيجاز الكاميرا المتعددة الإتجاهات. تخيل أن لديك مرآة محدبة موجهة للأسفل كاللمبة المغطاة بالفضة لتعكس البيئة من حولها، تقابلها كاميرا عادية موجهة لأعلى نحو المرآة المحدبة: هذا التصميم ينتج كاميرا تغطي مجال رؤية 360 درجة. بينما يُعتبر هذا التصميم سهلاً، الا أن به عيباً خطيراً: إن درجة الدقة منخفضة جداً لأن جزءاً كبيراً من البيئة المحيطة — أكبر بكثير منه في حالة الكاميرا العادية – يتم تنظيره على الكاميرا العادية، مما يجعل التحليل البصري وبالتالي تطبيق قواعد ريونولدز صعباً. إن تمييز الروبوتات لبعضها البعض، وهو متطلب سابق لعمل قوانين الأسراب، يصبح أيضاً صعباً لهذا السبب. وللتغلب على هذه المشكلة قام كيونز بوضع أشرطة ذات ألوان زاهية على الروبوتات المختلفة

حتى تتمكن الروبوتات من تمييز الروبوتات الأخرى. وبالفعل، ظهر سلوك أسراب غير مبرمج في المختبروأيضاً في موقع معرض الدماغ ـــبموقع حدوده متر مربع تحيط به ألواح يبلغ طولها حوالي 20 8 x 8 سم ـــأثناء إختباره في الليلة السابقة للحدث. ولكن في أثناء الحدث تعطل النظام، حيث اتجهت بعض الروبوتات نحو حدود الميدان عوضاً عن بقائها في المجموعة. ولقد دل تحليلنا السريع إلى المشكلة: إن السبب وراء ذلك هو إرتداء العديد من الأطفال الحضور ملابساً من ذات الألوان التى إستخدمتها الروبوتات للتعرف على بعضها البعض. وعندما بقيت روبوتات كونز وحدها في الميدان، أو محاطة بأكاديميين يرتدون الأسود، والرمادي والبيج، عمل سرب الروبوتات جيداً، دون برمجة مسبقة ومستنبطة من (قوانين التفاعل المجاورة: local rules of interaction) لبعضها. ولكن لاحقاً إتضح السبب، فبدلاً من تجمع الروبوتات مع أسراب الروبوتات الأخرى في الميدان فقد اعتبرت الروبوتات أن الأطفال مجموعة أخرى من الروبوتات! وهذا يعنى الكثير جداً على مستوى المعالجة الإبصارية في العالم الحقيقي. وما يعنيه لنا كملاحظين من البشر، يبدو واضحاً حتى السخف ـــ إن الأطفال يختلفون تماماً عن الروبوتات الدائرية

ذات العجلات الثلاثية والكاميرا متعددة الاتجاهات ـــ وقد لا يكون هذا واضحاً وجلياً من منظور التعلم الذاتي من البيئة للروبوتات. وهذا المثال يبين المستوى المتدني للنظام السلوكي للروبوتات: إن أي تغيير بسيط في الأحوال البيئية المحيطة يتسبب في عطل النظام. وهذا يزيد إعجابنا بقوة وقدرة النظم الطبيعية الفائقة!

إن الصعوبات التي ذكرناها لم تحدث لأن كونز لم يكن يعرف ما يقوم به: حيث أن له العديد من هذه التجارب، وقد أدى واجبه ودرس المؤلفات المنشورة في هذه العلوم. إن إلقاء نظرة على المؤلفات التي نشرت حول الروبوتات التجميعية في الحقيقة شيء ممتع: ولكن بالرغم من الإمكانات الهائلة للذكاء التجميعي، تظهر في الأفق بعض المشاكل التي قد تكون مؤشرات لمسائل أعمق. أولاً، هناك تجارب قليلة بشكل يدعو للدهشة على مجموعات الروبوتات الحقيقية، في حين تُوجَد الكثير من التجارب في المحاكاة. ثانياً، نوعية المهام التي تمت الكتابة عنها محدودة نسبياً. ثالثاً، عادة ما يُستخدم القليل من الروبوتات في مثل هذه التجارب. رابعاَ، من الصعب تقييم القيمة العلمية لمثل هذه التجارب لأنها لا تتبع الأنظمة والإجراءات المعمول بها. خامساً، في العديد من التجارب الروبوتية التجميعية، لم يُعْطَى السلوك غير

المبرمج الأهمية المطلوبة. وأخيراً، هناك القليل جداَ من التطبيقات في الروبوتات التجميعية إذا وجدت في العالم الحقيقي.

للتأكيد، هناك تجارب ضخمة ومثيرة تتعامل مع السلوك غير المبرمج في الأنماط الشاملة التي تظهر في الروبوتات الفيزيائية: (تكتل الروبوتات robot clustering) مثلاً، بيكرز وآخرون: 1994م، Beckers et al 1999م، ومارتينولي وآخرون، ؛ Martinoli et al)، الروبوتات التي تتجزء إلى مجموعات فردية ثانوية (هولاند و ميلهيوش، 1999م، Holland and Melhuish)، الاستكشاف (هايرس وآخرون، 2000م، et al. Hayes)، تقسيم العمالة (لينج وآخرون، 2004م، Ling at al)، نقل الاشياء الضخمة واستغلالها (جيسبيرت وآخرون، 2001م، Ijspeert et al 2004م، ؛قروب و دوريجو، Groß and Dorigo)، شبكة الاتصالات التي تغطي الميدان (آيكيكوا وآخرون، 2003 م، Ichikawa et al). هذه القائمة غير كاملة، لكن من الصعب الحصول على حالات دراسة إضافية على روبوتات فيزيائية في الذكاء التجميعي، والتى انبثقت فيها وظائف المجموعة ككل من القوانين المجاورة. القليل من المؤتمرات خصصت للذكاء

وهو مؤتمر الأنظمة ،(DARS) التجميعي مثل دارس الروبوتية ذات التوزيع الذاتي (Autonomous Robotic Systems Distributed) — ولكن أجريت القليل من الأبحاث فيما يخص DARS في السلوك غير المبرمج — وكذلك مؤتمر الأسراب الذي كرس خصيصا للمجموعات الكبيرة ،(SWARM) من الكائنات، ولكن، مرة أخرى، أكثر الأعمال تُمثَّل فقط بالمحاكاة.

ولنعد إلى المشاكل التي كشفت عنها الأبحاث المنشورة في هذا المجال، كما هي ولنبحث عن أسباب قلة الدراسات الفيزيائية. (المستلزمات المادية: Hardware) غالبا مكلفة ومنخفضة الكفاءة، كما يتطلب استخدامها وجود باحثين لديهم الكثير من الخبرة في هذاالميدان، وهومايفسرلماذا تستخدم الروبوتات عادة بشكل محدود. في العادة تستخدم 5 أو 10 أو 20 روبوتات بينما أعلى رقم، حسبما نعرف، هو 100 (ماكلوركين وسميثز، 2004م McLurkin and Smiths). في حين يتطلب حقاً مصطلح ذكاء السرب الذي يستخدم أحيانا ،(swarm intelligence) كمرادف للذكاء التجميعي، أعدادا كبيرة جداً من الكائنات. يخطط اختصاصي علم الروبوتات الدقيقة

جورج سيفيريد (microrobotics) (Joerg Seyfried) من جامعة كارلسروه (University Of Karlsruhe) في ألمانيا، أحد مراكز علم الروبوتات في أوروبا، لاستخدام روبوتات بارتفاع 1000 ميليمتر للاكتشاف، والتنظيف، والتجميع وتحديد المهام، في بحث ضخم يسمى السرب الذكي " i - swarm" (سيفريد وآخرون، Seyfried et al) 2005 م تم تمويله من قبل الإتحاد الأوروبي في برنامج IST - FET المعروف باسم مجتمع تقنية المعلومات: التقنيات غير المبرمجة والمستقبل (Information Society Technology, Future and Emergent Technologies).وفي نهاية عام 2005م لم تزل مرحلة التخطيط للتجارب على الروبوتات الحقيقية قائمة، ولكن بالتأكيد سيكون من الممتع متابعة تقدمها.

تأخذ التجارب على الروبوتات الطبيعية أيضا وقتاً طويلاً لأن على الباحث التعامل مع جميع مشكلات العالم الحقيقي التي نُوقِشت في الفصل الثالث؛ و تأخذ الروبوتات وقتاَ لتتحرك؛ ونظرا لعدم فعالية الأجهزة، يجب أن تتكرر التجارب مراراً. لذا تتطلب هذه التجارب وقتاً وجهداً أكبر بكثير من تلك التي تستغرقها في دراسات المحاكاة.

عندما نجري استفتاءاً عن أنواع التطبيقات التي يهتم بها هذا الفرع من البحث، بصرف النظر عن الكائنات المستخدمة سواء كانت روبوتات فعلية أو كائنات افتراضية رقمية، نواجه دائماً السلوكيات التالية إضافة إلى ما سبق وذكرناه: (التفرق dispersion) :(مثلاً: تغطية منطقة كاملة بقدر المستطاع بانتظام)؛ (البحث عن طعام: foraging) (ويمكن أن يتضمن التفرق أو إيجاد أقصر الطرق لمصدر الطعام)؛ (بناء الخرائط map - building) (تشكيل تمثيلات لاكتشاف خبايا البيئة)؛ (تركيب المهام البسيطة: simple assembly tasks) (مثل مشروع بحارة ناسا: NASA Work Crew project، حيث يتعاون زوج من الروبوتات على التقاط ونقل أعمدة معدنية طويلة لموقع تشيدي لتثبيتها فيه (شينكر وآخرون، 2003م Schenker et al، مسابقة كرة القدم للروبوت (كيتانو وآخرون، Kitan et al، 1997م)، وأخيرا مهام (التنظيف: cleaning) و(جمع الأشياء: collection object). وحسب علمنا لم تتحول بعد أي من هذه إلى تطبيقات فعلية، مما يثير التساؤل حول متى سيصبح علم الروبوتات التجمعية عملياً يمكن تطبيقه على نطاق واسع.

هناك سبب آخر لمحدودية التطبيقات - نفسي - وهو أننا لا زلنا نبدو غير واثقين من التنظيم الذاتي والسلوك غير المبرمج، لأننا لا نمتلك الفهم الملائم لكيفية تصميم الأنظمة بحيث تنشأ الوظائف دون برمجة من (القوانين المحلية: local rules). وعندما لا نثق في التنظيم الذاتي، نسعى إلى السيطرة على أنظمتنا أكثر من اللازم (مثلاً: نحن نعطي كائناتنا الكثير جداً من "القدرة الدماغية: brainpower") فيداهمنا شبح الإدراك. ويمكننا التكهن أكثر، فيكون آخر سبب هو أن السلوكيات غير المبرمجة والتنظيم الذاتي مفيدة للأنظمة الطبيعية وذلك من أجل خدمة مفهوم البقاء والتكاثر، ولكن ذلك قد يكون أقل قيمة في البيئات التي نتواجد بها، نحن البشر، حيث نرغب أن تنفذ لنا الروبوتات مهام معينة.

7.5 ملاحظة حول التعاون

قبل أن ننتقل إلى (علم روبوتات الوحدات: modular robotics)، يجب أن نضيف هنا بعض التعليقات حول التعاون. يبدو التعاون أحياناً كعلامة من علامات الذكاء: ومما لايمكن إغفاله، أنه من خلال تعاوننا أصبحت إنجازاتنا كبشر في العلوم، والتكنولوجيا، والمجتمع أمراً ممكناً. ولكن، بالنظر إلى وضع دراسات الذكاء الاصطناعي والروبوتات حالياً، لا زلنا بعيدين عن

تصميم وبناء كائنات قادرة على أداء إنجازات مماثلة. وبدلاً من محاولة القيام بمسح شامل ومركَّز لمراجعة الدراسات حول التعاون، سوف نعلّق على المصطلح ذاته، و لنبين كيف أمكن استخدامه في هذا المجال، ثم نشير إلى مجال واعد يمكن أن يلعب فيه التعاون بين الروبوتات دورا أساسيا، مثل مسابقات كأس الروبوتات (RoboCup).

ماذا نعني بالتعاون في الحقيقة؟ بشكل ما، تتعاون الروبوتات السويسرية: حيث تؤدي جميعها ذات المهمة، وهكذا تؤدي المهمة بصورة أسرع. ولكن هل هي فعلا تتعاون؟ الجواب غير واضح. إذا تخيلت أن روبوتاً سويسريا واحدا فقط يؤدي المهمة، نظرياً فإن الذي سيحدث بالضبط هو ما يحدث إذا استخدمت روبوتات متعددة لأداء ذات المهمة، ولكن ذلك فقط سيأخذ وقتاً أطول لتظهر أكواما متراكمة. ولكن عملياً، فإن الروبوتات في معظم الأحيان تنحجز في مكان ما في حدود المنطقة. لذا فإن كان هناك روبوت واحد فقط، سيظل محتجزاً ولن يستمر في العمل، وهكذا ستترك المنطقة غير منظمة. لكن إن كانت هناك روبوتات أخرى حولها، فإنها ـــ وبسبب أن المنطقة مغلقة ـــ سوف تمر في النهاية بالقرب من الروبوت المحتجز وتحرِّره، بالاصطدام به، وهكذا يمكن

أن تواصل الروبوتات عملها. لذا، فالروبوتات تساعد بعضها البعض ـــ أي تتعاون ـــلكنها بالطبع لا تدرك شيئاً عن طبيعة سلوكها هذا المحترم.

وبالمثل، يضع النمل الفيرمون عند بحثه عن الطعام فيتعاون ـــ وإلا لن يستطيع العثور على أقصر الطرق لمصدر الغذاء ـــولكنهم لا يحتاجون معرفة بأنهم فعلوا ذلك. والسؤال هو هل يعد مصطلح التعاون مبرراً في المقام الأول لوصف هذه السلوكيات أم لا. في كل الأحوال، من المقبول أن نستعمل هذا المصطلح، لكن يجب أن نكون مدركين في الحقيقة أن مفهوم التعاون يوجد في رؤوسنا، كمراقبين أو مشاهدين، بدلاً من كونه في رأس الكائنات فتدرك معناه: وهذا يذكرنا بمسألة الإطار المرجعي مرة أخرى.

وماذا عن النمل الذي يحمل ورقة شجر كبيرة؟ في هذه الحالة فإننا نميل أكثر إلى استخدام مصطلح التعاون لأن سلوك النمل يعتمد و بصورة مباشرة على سلوك النمل الأخر. وبالمثل، إن كان هناك روبوتات عديدة تدفع جسماً كبيراً، فإننا نميل إلى أن نسمي هذا تعاونا. بالطبع، لو كنا نعرف فعلياً أن الكائنات تلاحظ أو تراقب بعضها البعض وتبني أفعالها وردود فعلها على السلوكيات المُلاحَظَة لدى كائنات أخرى، عندئذ فهي بالتأكيد تتعاون.

تاريخياً، هناك تجربة مثيرة جداً في دراسات الروبوتات التعاونية تعرف بإسم "روبوت النظام البيئي: robot ecosystem"، الذي صممه لوك ستيلز (Luc Steels) وديفيد ماكفيرلاند (David McFarland) في منتصف التسعينات، (ممكفرلاند، McFarland 1997م، ستسيلز، 1994م؛ Steels). باختصار، هناك قدر محدود من الطاقة يمر عبر النظام، بما يقلِّد المصادر المحدودة في الأنظمة البيئية الطبيعية. وهناك عدد قليل من الروبوتات في الساحة، بها محطة شحن تستطيع أن تشحن بدرجات مختلفة من الطاقة، ولها عدة صناديق ذات مصابيح الأشعة تحت الحمراء. وتسمى المصابيح " المنافسات: competitors " — مثل الروبوتات — لأنها تستهلك الطاقة من النظام البيئي؛ وأيضاً، لأن الكمية الكلية من الكهرباء المتوفرة محدودة، فإن الروبوتات تتنافس مع المصابيح على الكهرباء. وبالطَّرق على هذه المصابيح، تتمكن الروبوتات من تقليل الطاقة التي تستهلكها المصابيح. ويؤدي خفض إستهلاك الطاقة إلى إعتام الإضاءة الناتجة، وبالتالي يتوفر تيار أكبر لمحطة الشحن. أما لو تركت المصابيح دون الطرق عليها، فسوف تزداد بثبات إضاءتها وتصبح أكثر إشعاعاً وبذلك

يكون إستهلاكها للطاقة أكثر. ومن منطلق التعاون، يمكننا القول بأن الروبوتات التي تطرق المصابيح تساعد في المقابل الطاقة التي تتولد في محطة الشحن. وفي مثل هذا الوضع، يكون مثيراً الدراسة تحت الظروف التى يمكن فيها تعلم هذا السلوك التعاوني، ومعرفة ما هي أنواع ردود الفعل التي تحتاجها الروبوتات؟ وبمقياس التطور الزمني، بعد عدة أجيال، قد يظهر السلوك التعاوني في نهاية المطاف لأن الروبوتات التي تتعاون تحصل على طاقة أكبر بشكل عام. فعلى سبيل المثال، يمكننا تخيل سلوك تطوري ناجح كأن: يستشعر الروبوت أن روبوتاً آخر موجود في محطة الشحن، عندئذ فإنه سوف يجد أقرب مصباح ويطرق عليه. لكن، حتى الآن، لم يتم تجريب التعاون المتطور في الكائنات المجسدة، على الرغم من توفر بعض الدراسات المبدئية التي أجريت على التعاون التطوري عن طريق المحاكاة (سبيكتر وآخرون، 2005م Spector et al).

أحد أفضل الأمثلة عن التعاون، مثال واعد جداً في مجال الذكاء الاصطناعي والمعروف بإسم روبوكوب أو مبادرة كأس الروبوتات العالمي (RoboCup)، (Robot World Cup Initiative) التي تحدثنا عنها (كيتانو وآخرون، 1997م Kitano et al)

في الفصل الثاني. أن يرسل روبوتً الكرة إلى روبوت آخر ليرميها في الهدف وهذا بلا شك عمل تعاوني لايمكن إنكاره. وبالمقارنة مع مهام تعاونية أخرى استخدمت فيها الروبوتات، فإن هذا العمل يتطلب عددا من المهارات الإدراكية والحسية - الحركية المتطورة: يجب أن تكون لدى الروبوت القدرة على الجري السريع، تحركات عند شعوره بالحماس والإثارة، وقذف الكرة، وتجنب المنافسين، والتعرف على الكرة والهدف ولاعبي فريقه ولاعبي الفريق الخصم، ولابد لهم أن يكونوا قادرين على توقع الأوضاع المختلفة للكرة واللاعبين الآخرين وغيره. تتم برمجة التعاون في هذه الروبوتات، ولكن، بروح المنهج التحليلي، يمكن تعلم الكثير عن متطلبات التعاون في هذا النطاق: وتحت أي ظروف لابد أن تُرسَل الكرة الى لاعب أخر؟ ومتى لابد أن يستمر اللاعب في مراوغاته؟ متى لابد أن تُرمي الكرة مباشرة في الهدف؟ غني عن القول، أنه لا زال هناك الكثير مما يجب بحثه لتطوير المهارات الحسية - الحركية للروبوتات لتدعم هذه السلوكيات المعقدة. حتى الآن، استخدمت في كأس الروبوتات العالمي روبوتات ذات عجلات، ولكن مؤخرا تم إنشاء فريق من الروبوتات المشابهة للبشر. في هذا النطاق، سيمثل الحصول على المهارات المطلوبة تحدياً

كبيراً، حيث أن الروبوتات شبه البشرية القادرة على المشي تم تطويرها مؤخراَ. إذا نجح في هذه الدورة الفريق شبه البشري وتمكن من الإنطلاق فعلاً، فإننا نتوقع وجود عددً أكبر من المشاهدين والمشجعين في البطولات، بالمقارنة مع 100000 متفرج الذين حضروا إلى قبة فوكوكا (Fukuoka Dome) في 2002م.

دعونا الآن نعود إلى روبوتات الوحدات، وهو مجال يدخل ضمن علم الروبوتات، والذكاء الاصطناعي، وعلم الحياة الاصطناعية وقد تزايد الاهتمام به مؤخراً.

7.6 روبوتات الوحدات (Modular Robots)

لنعد إلى القصة التي ذكرناها في أول الفصل، لنذكركم أن كاسبر ستوي أدهش الحضور بروبوت نمطي له (تحكم توزيعي :(distributed control: كل وحدة فيه تتحرك من ذاتها، بدلا من أن يتم التحكم في جميع الوحدات من قِبَلْ وحدة رئيسية أو حاسوب منفصل خارجي. استخدم ستوي مفهوم (الأدوار :roles) لجعلها تعمل: تستطيع الوحدات أن تتعرف ذاتيا على الطريقة التى ترتبط فيها بجاراتها، وبناءً على طريقة الارتباط، تستطيع أن تُحدد دورها في النظام وأن تتجاوب بردود أفعال مناسبة من خلال تشغيل برنامج التحكم الخاص بذلك الدور. وبدون الخوض في تفاصيل تقتية، إذا اتصلت

الوحدة بوحدة واحدة فقط، فإنه يكون في نهاية العضو (أو الثعبان). وإذا اتصلت بوحدتين، واحدة في نهاية كل طرف، فهو يشكل جزءاً من العضو أو جسم الثعبان. أما فهو وضع ترتبط T، إذا اتصلت الوحدة على شكل حرف فيه الأرجل بالجسم وغيره. وإذا تم تعيين برامج التحكم الصحيحة للأدوار الصحيحة، فإنه يمكن تحقيق سلوك مفيد مثل الحركة.

لقد رأينا أن بعض الكائنات المعينة، مثل السمك المنتفخ (Fugu)، يستطيع أداء مهام مختلفة بتغيير أشكاله. صاغ فوميو هارا (Fumio Hara) من جامعة طوكيو المصطلح (مكائن الوظيفة الشكلية:morphofunctional machines) على الروبوتات التي تؤدي مهام مختلفة بتغيير أشكالها (هارا وفايفر، Hara and Pfeifer). 2003م وتدعم هذه القدرة درجة التكيف بالمقارنة مع الروبوتات العادية التي يحدث التكيف فيها فقط من خلال تغيرات تحكم الشكل الهندسي. وتغيير الشكل هو أحد الأهداف المهمة لعلم روبوتات الوحدات. لتوضيح هذه النقطة أكثر سننظر إلى مثال آخر.

(M - TRAN) م - تران

م - تران (M - TRAN) هو نظام روبوتي طوره ساتوشي موراتا (Satoshi Murata) في مؤسسة طوكيو للتقنية، وهو أحد القادة المعروفين في مجال علم روبوتات الوحدات. ويبدو أنه على إتصال باستشراف المستقبل، حيث أن أبحاثه الممتازة بها خيال علمي مميز. ولكن بالمقارنة مع قصص الخيال العلمي، فإن أفكاره طبقت ليس فقط في المحاكاة ولكن أيضاً على المستلزمات المادية. طور موراتا (Murata) نموذج وحدة م - تران، الذي استطاع من خلاله تحقيق مجموعة مختلفة من السلوكيات التى لايمكن تصديقها. ورغم أن بعض المبادئ الأساسية مشابهة لمنهج ستوي، إلا أن م - تران يستطيع، بالمقارنة، أن يرتبط وينفصل عن وحدات أخرى ذاتياً وبدون تدخل من الإنسان. قد يبدو هذا سهلا للوهلة الأولى، لكن النظرة الفاحصة توضح أنه أبعد ما يكون عن السهولة من منظور المستلزمات المادية. إحدى الطرق الممكنة، استخدام (مغناطيسات اليكترونية: electromagnets): عندما تريد وحدتان أن تلتحمان، يتم تشغيل المغنطيسات باستخدام تيار، وعندما لا نحتاج إلى هذا الإلتحام يتم إيقاف التيار. مشكلة هذا الحل هي استهلاك الطاقة وانتشار الحرارة: عند التحام الوحدات، حيث تصبح بحاجة مستمرة إلى الطاقة ويجب

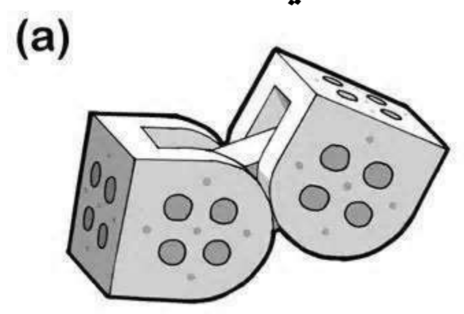
إيصال هذه الطاقة بطريقة ما إلى جميع الوحدات؛ بالإضافة إلى ذلك، على الأقل جانب واحد من كل وحدة سيكون دائما ملتحماً وهكذا فإن كل وحدة تحتاج إلى تيار. وهناك حل بديل، بحيث من الممكن أن نستخدم مغناطيسات ثابتة. ووحداتها سهلة الإلتحام، وبعد إلتحام وحداتها فهي لا تتطلب المزيد من الطاقة. ولكن ماذا عن الانفصال؟ إذا أردنا أن تلتحم الوحدات ببعضها جيدا، مثلا، ندعِّم "الذراع" بعدد من وحدات م - تران الناتئة ـــ لنقل اثنان أو ثلاثة ـــ وبهذا سوف تزن "الذراع" بين 800 الى 1200 جرام (معطى أن كل وحدة تزن 400 جرام). لذا نحتاج إلى مغناطيسات قوية نسبيا، وهذا يعني أن فصلها يتطلب قوة أكبر. ويتم حل هذه المشكلة في وحدات م - تران بواسطة أداة فصل مبتكرة. (يمكن للقارىء الراغب في المزيد من التفاصيل مراجعة موراتا وآخرون، Murata et al). 2004م

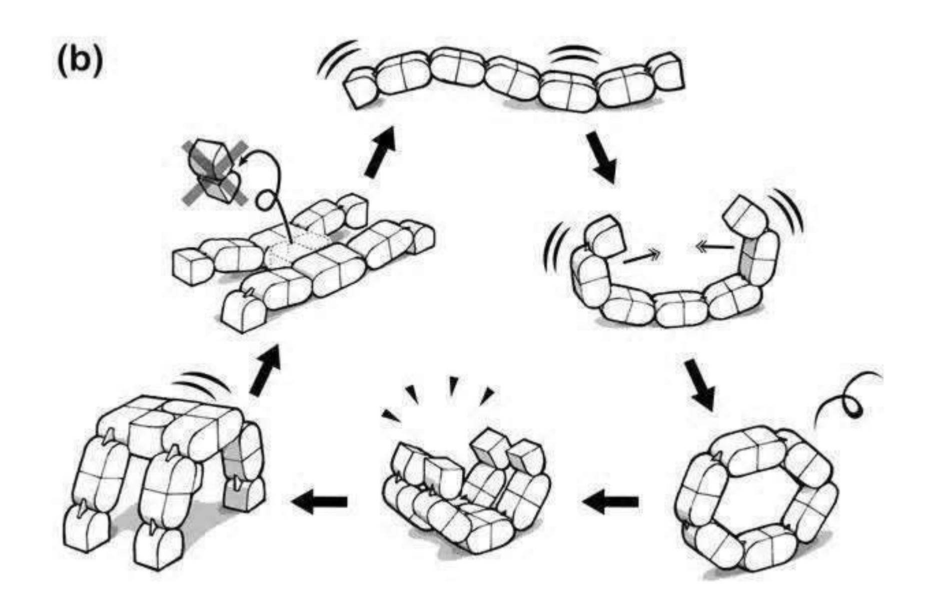
وحدات م - تران معقدة للغاية. وهي تتكون من وحدتين شبه مكعبتين ـــ تشبه المكعب من طرف وتشبه الأسطوانة من الطرف الآخر ـــ وحجم كل منها 6□□x6 x6 سم، وهما موصولان برابط، ويقوم على تشغيلهما محرك خادم (servo motor) (انظر الشكل.7.1 أ). وكل وحدة مزودة بثلاث شرائح موصولة

على السطح، وبطارية، وشريحة معالجة دقيقة ومغناطيسات لها ،(microprocessor chip) خاصية الانفصال، وروابط تمنحها خاصية الإلتحام بالوحدات المجاورة. ويتم تحقيق (إعادة تعريف الذات: Self - reconfiguration) بتكرار العمليات الأساسية لفصل سطح ما من سطح آخر بجواره، وتدوير شبه المكعب، وإعادة إلتحام السطح مع سطح آخر بجواره. وعلى ما يبدوا أن المشكلة الأساسية في إعادة تعريف الذات هي كما يلي: عندما يكون لدينا تعريف ذاتي مبدئي كما هو موضح في الشكل (ب)، ("شكل ثعبان"، عبارة عن ترتيب خطي للوحدات) والهدف النهائي للتعريف في (ب) هو الشكل (الماشي ذو الأربعة أرجل)، والسؤال هو هل يمكن تحويل الشكل (أ) إلى الشكل النائي في (ب) بواسطة سلسلة متتالية من (العمليات الضمنية: local operations) للشكل؟ وتعتبر هذه مشكلة حاسوبية صعبة، وقد طور موراتا (Murata) وفريقه لوغاريتم لأداء هذا العمل. وبإستخدام طريقته، أمكن تحويل الماشيات ذوات الأرجل إلى ثعابين ومتدحرجات لأ غراض حركية (انظر الشكل: ب7.1). وكما ذكرنا سالفاً، فإن فكرة إعادة التعريف الذاتي هنا تستبعد المصمم من تفكيك الشكل وإعادة تركيبه، ولكن الشكل من خلال

سلسلة خطوات متتالية، يحول هيئته " متكيفاً:
إلى التركيبة الجديدة. لذا، فالآليات "morph
المصنوعة من وحدات م - تران هي أمثلة أولية لآلات
التكيف الوظيفي): morphofunctional).
يُشَغَّل اللوغاريتم المطلوب لإحتساب أنماط سلسلة
التحول على حاسب منفصل، ثم توجه أوامر للوحدات
بتعليمات تطلب منها التحرك بطرق معينة حتى يتم
التحول لتغيير الشكل. وبهذا المنظور يكون مخطط التحكم
مركزي، ولكن الطريقة التي يحدث بها التحول غير
مركزية: لأنها تتم من خلال ردود فعل مجتمعة للوحدات
الفردية. وتوليد الأنماط الحركية، بالطبع، أصعب في نظام
كهذا منه في روبوت له هيئة معينة، لأن كل نمط يجب أن
يتم تصميمه متكيفاً بإختلاف هيئته الذاتية بحيث يستطيع
النظام التحول إليها. في الروبوتات المكونة من وحدات م
– تران، يمكن تحقيق هذا باستخدام (طريقة مثلى:
تعتمد على التطور (optimization method
الاصطناعي، كما ناقشنا في الفصل السابق.

(a)





شكل 7.1

- M) روبوتات إعادة تعريف الذات: نظام ساتوشي موتارا م - تران TRAN system Satoshi Murata's). أ) الوحدة المفردة. (ب)) عملية التكيف الذاتي موضحة الخطوات البينية أثناء تحولها للهيئة النهائية.

وكما هو معتاد، يهمنا السلوك غير المبرمج، وإحدى طرق دراسته هي من خلال منظور التطورالاصطناعي: أنماط حركة المشي ــــهيئة الثعبانــــ الماشي بأرجل ــــ ذو الحركة التدحرجيةــــ تظهر نتيجة عملية التطورلروبوت م – تران. كذلك تُعد أنماط الحركة سلوكاً غير مبرمج لأنها تنتج من حركات بسيطة للوحدات الفردية، ثم تنتج من التفاعل فيما بينها وفيما بينها وبين بيئتها مشية معينة أو نمط حركي آخر محدد. لكن عملية إعادة التعريف الذاتي بحد ذاتها مركزية التحكم وعليه

فهي ليست سلوكاً غير مبرمج لأنها لاتعتمد فقط على تفاعل الوحدة مع البيئة أثناء إعادة التعريف الذاتي.

الفطر اللزج سلايمبوت (Slimebot)

لفهم السلوك غير المبرمج بصورة أفضل سندقق النظر في المثال الأخير لإعادة التعريف الذاتي في روبوتات الوحدات التي تركز بشكل واضح على السلوك غير المبرمج. يُعرف عالم الروبوتات أكيو ايشيجورو (Akio Ishiguro) من جامعة ناقويا في اليابان (Nagoya University in Japan) — وهي المدينة التى تصنع فيها سيارات تويوتا — بتفكيره غير التقليدي كما أن له باع طويل في دراسات التوازن البيئي و(الإقتران العصبي ـــالجسدي :neural - body coupling). ولقد استلهم أيضا من الطبيعة في إنجازاته لآخر الروبوتات. استلهم الروبوت سلايمبوت من كائن يسمى "الفطر اللزج"، وهو كائن أثار اهتمام الباحثين في الذكاء الاصطناعي والحياة الاصطناعية. يتكون الفطر اللزج – وهومخلوق أثار إهتمام العديد من الباحثين في الذكاء الإصطناعي والحياة الإصطناعية. الفطر اللزج – بالطبع وليس مفاجئاً– أن يكون لزجاً. إن هذا المخلوق ليس له رأس، أو جسم حقيقي أو أطراف. وإنه يتكون من نوع واحد من الخلايا وليس له نظام

للخلايا العصبية، ولكن له دورة حياة مثيرة للاهتمام. وتتكون الدورة الحياتية من مرحلة تطور شبه - حيواني يتحرك فيه، ويأكل ويهضم - تماما مثل الحيوان – ومرحلة تكاثره مثل النبات. كان ايشيجورو (Ishiguro) مهتما بهذا الكائن الفطري اللزج لأن خلاياه العديدة يمكن أن تنتج أنماط حركية عديدة على الرغم من أنه لايمتلك نظاما عصبيا أو دماغا.

بنى ايشيجورو وحدة، مختلفة تماما عن م - تران: تركيب هيئته تشبه العجلة، له ثمانية أطراف حادة ويمكن أن تُفعَّل كل منها بما يمكن أن نسميه المشغلات الخطية (أي مشغل له أنبوب رفيع يتحرك داخل آخر قطره أكبر، تماما مثل البيستونات في محرك السيارة). تمتد العجلات أفقيا على الأرض. ولوصلها بالوحدات الأخرى، تُغطَي سطح العجلات بمادة الفيلكرو (Velcro)، بحيث أنها عندما تلتمس مع روبوتً آخر مغطى بمادة الفيلكرو فإنهما يلتحمان معاً. ولكي تنفصل، تدفع المشغلات الوحدات بعيداً عن بعضها البعض. بالإضافة إلى ذلك، هناك أيضاً ميكانيكية للتحكم في الاحتكاك الأرضي — عالي أم منخفض — أيهما يستخدم لتوليد الحركة: عندما يكون الجزء عالي - الاحتكاك على الأرض، يمكن أن يُستخدم لجذب أو دفع الخلايا المجاورة. وباستخدام نوع

من البندول، مثل تلك التي رأيناها في الكلب الروبوتي "بابي" وفي السمك الجلكي، وبالاستفادة من (الإقتران التبادلي: mutual coupling) بين الوحدات المتجاورة، ينتج نوع من الموجات المتناسقة في الوحدات المتجاورة يمكنها أن تسافر عبر مجموعة متكتلة من 30 وحدة بأكملها؛ وباستغلال ميكانيكية التحكم في ارتفاع - وانخفاض الاحتكاك، يبدأ الروبوت بأكمله في التحرك على الرغم من أن الوحدات الفردية لا يمكنها أن تتحرك بمفردها. لاحظ أن الموجات التي تسافر عبر الروبوت هي نتيجة لتفاعل الوحدات المتجاورة والاحتكاك، ولا يتم التحكم فيها بشكل كلي؛ وعليه يمكننا القول بشكل واضح أن هذه الحركة هي سلوك غير مبرمج—— أي أنها نتيجة لعملية إعادة تعريف ذاتي.

وتواجهنا في معظم طرق دراسة روبوتات الوحدات، المشاكل المتعلقة بالمسائل الميكانيكية مثل الإلتحام، والانفصال، وتحريك الوحدات، التى تتطلب قدرا كبيرا من الدفع وتستهلك الكثير من الطاقة. ولكن قد تكون هناك طرق أسهل لتحقيق ذلك، مثل الإستفادة من حقيقة خاصية الطفو في الماء أو السوائل الأخرى. فالوحدات المصممة بشكل مناسب يمكن أن تطفو. وهذه هي إحدى الأفكار الأساسية حول وحدات الهيدرون (HYDRON)

التي صممت ضمن مشروع هيدرا الذي ذكرناه آنفاً. وبينما تعالج هذه الطريقة المشاكل الميكانيكية، يجب التعامل مع مسائل التشغيل في الماء. في حين أن هذه الطريقة تخفف من المشاكل الميكانيكية، ولكن يبقى علينا التعامل مع مسألة تشغيل الروبوتات في بيئة السوائل. في كل الأحوال، سيكون من الممتع أن نرى نتائج هذا العمل في المستقبل. وهناك أيضا حل آخر، قد يكون هوتخفيض حجم الوحدات الفردية، مما يجعلها أخف وبذلك يقلل (أو على الأقل يغير) المشاكل الميكانيكية. ويقودنا هذا إلى مسألة تغيير القياس، والتي ستزداد علاقتها بموضوعنا إذا أردنا أن نقارب قدرات الأنظمة الطبيعية، مثل القدرة على التصليح - الذاتي (self - repair) وإعادة الإنتاج - الذاتي (self - reproduce).

7.7 - تغيير المقاس، التركيب - الذاتي، التصليح - الذاتي، التجانس وعدم التجانس

من الممكن أن يقال أن أول روبوت مجسد يستطيع أن الذي يقوم بتصليح ذاته افتراضياهوفراكتا (fracta)، بناه أيضاً موتارا. والآلة فراكتا عبارة عن روبوت مكون من وحدات يعمل على أساس: مبدأ التمييز - الطرد - والإستبدال (identification - expulsion - replacement). أولا: يتم تمييز الوحدة المعطوبة:

تستطيع الوحدات المجاورة إكتشاف إذا كان أحد وحدات جيرانها معيباً من خلال قياس مقدار سحبها للطاقة. فإذا تم إكتشاف الوحدة المعيبة، تُطرَد من النظام. والطرد قد لا يكون سهلاً لأن الوحدة قد تظل وسط العديد من الوحدات الأخرى؛ فإجراءات إعادة التعريف الذكي لابد أن تُطبق. وأخيراً، يتم إستبدال الوحدة بوحدة أخرى جديدة من الوحدات الإضافية ليتم ولوجها في المكان الصحيح، وهذا أيضاً يتطلب لوغاريتم بمستوى عالٍ ومتقدم.

وبينما تشكل الآلة فِراكتا (fracta machine) بوضوح تطوراً رائداً، إلا أن للمنهج محدودية مهمة. إذ أن عملية التصليح الذاتي يمكن أن تُعرقل عمل الآلة، فعلى سبيل المثال، يمكن أن تُزال وتُستَبدل وحدة كاملة متعددة الأجزاء. في حين أن الكائنات الحية الحيوية مثل الهيدرا تعمل بشكل مختلف إذ تستمد قوتها للتصليح من الشبكات التنظيمية الوراثية التي توجه نموها وأيضاً من عدد خلاياها الضخم. ولكن، بالإستفادة من تطور التقنيات المتعلقة بالنمو وبالإهتمام بتمييز الوحدات الاصطناعية أو الخلايا، يبدو أنه ليس أمامنا حالياً سوى إستراتيجية (التعرُّف– الطرد –الإستبدال: identification - expulsion - replacement). على الرغم من هذا، يمكن جعل هذا المنهج أكثر سلاسة إذا أمكن تقليل

حجم الوحدات ورفع عددها بشكل كبير. ولكن، تقليل عدد الوحدات بصورة ملحوظة يستدعي تغير في طبيعة الوحدات جذرياً: فبدلاً من امتلاك آلية كهرومغناطيسية متطورة، وأنظمة اتصالات، يجب استخدام تقنيات مختلفة [29] (على سبيل المثال: لا يمكن صناعة المحركات الكهربائية صغيرة بشكل اعتباطي).

في هذا السياق، التقنيات التي تسمح للوحدات أن تصبح صغيرة بشكل محكم، تدعى (التقنيات المتدرجة المقاس: scalable technologies). وهناك معنى مكمل للتقنيات المتدرجة المقاس في علم روبوتات الوحدات يتضمن أن هذا المنهج يمكن أن يُطبَّق ليس فقط على وحدات الروبوتات القليلة العدد (10، 20، و100)، ولكن أيضاً على الروبوتات المكونة من آلاف الوحدات. وبالطبع فإن كنا نرغب في الحصول على وحدات صغيرة جداً، فإننا نحتاج أن تكون تقنيتنا قابلة للتغيير في المقاس من كلا الإتجاهين. ولأننا لا نستطيع التحكم في الوحدات بالطريقة الكلاسيكية من خلال برمجة المعالج الدقيق، لابد من الإعتماد أكثر على خواص الوحدات السطحية، وعلى أشكالها، وعلى عمليات التنظيم الذاتي لتوجيه سلوكياتها. فمثلا، من الضروري أن تكون الوحدات قادرة على التحرك. ويمكن إنجاز ذلك بقوة عضلات اصطناعية

ترتكز على نشاط كهربي لذرات مركب كيميائي تعرف يمكنها من تغيير شكلها (polymers) بإسم بوليمرات كردة فعل أثناء تحفيزها الكهربائي، تقنية متدرجة المقاس؛ وتتم حاليا دراسة البوليمرات النشطة كهربياً في مختبرات عديدة حول العالم. وكبديل آخر للبلوميرات، فقد تم اختيار البيئة السائلة لوضع وحدات الهايدرون (HYDRON).

علاوة على ذلك، يمكن أن تستغل خصائص أسطح الوحدات، وتشبيهاً بالخلايا الحيوية يمكن توصيل نوع معين من الأسطح فقط بسطح نوع آخر معين. مثلاً، يمكن بفليكرو آخر فقط (في (Velcro) أن يلتحم الفيلكرو الأنظمة الحيوية، هذا النوع الوظيفي يتحقق جزئياً بواسطة جزيئات التحام على المستوى الذري). بهذه الطريقة، تصبح عملية (التجميع أقل تكلفة في العمليات (selfassembly:الذاتي الحاسوبية بسبب خواص السطح، بالإضافة إلى تحركات الوحدات، التى يمكنها إنجاز نوع معين من (العمليات الحاسوبية لتركيبة الهيئة الجسدية: morphological computation). يمكن أن يتخيل شخص ما، أن لديه صندوق ممتلئ بوحدات صغيرة جداً مزودة بالطاقة المطلوبة لتحريك الوحدات

الفردية حتى تلتصق أو تلتحم بوحدات أخرى مجهزة إذا ما تم خضّ الصندوق. وبالرغم من أن عملية الاهتزاز هذه هي عملية عشوائية، فإن التركيب الناتج سوف يكون غير عشوائي وذلك بسبب الخاصيات والقوى السطحية المختلفة التي تؤثر في الوحدات. عُرضت هذه الفكرة من قِبَل ايساو شيموياما (Shimoyama Isao) ورفاقه في جامعة طوكيو، حيث كانت الوحدات على شكل المثلثات ومن خلال خضَّ الصندوق وتجمعت القطع ذاتياً مكونة أشكال مختلفة ـــــوقد جاء تكوين الشكل السداسي أكثر الأشكال احتمالاً حدوثه (هوسوكاوا وآخرون، 1995م، Hosokawa et al). وبشكل عام كلما أصبحت الوحدات أصغر فأصغر، فإن التجميع المباشر سيصبح أكثر وأكثر صعوبة ولهذا يجب أن يتم الإعتماد بشكل متزايد على عمليات التنظيم الذاتي، وكما هو معروف في تقنية النانو. ولقد عُرضت ظاهرة (التجمع الذاتي: self - assembly) وأُسْتُغِلَّت للتطبيقات في العديد من المستويات، من نانوميترات إلى سنتيمترات (ويتيسايدس وجريزبوسكي، 2003م، Whitesides and Grzybowski). التفاصيل التي توضح كيفية عملها لا تهمنا في هذه المرحلة، ولكننا نستطيع أن نتوقع

مدى تأثير هذه التطورات الهامة على مجال علم الروبوتات في المستقبل القريب.

أحد هذه الفوائد الهامة التى ترافق تقليص حجم الوحدات هو (التعميم :generality). كلما ازداد صغر حجم أي وحدة، كلما استطعنا مقاربة أي شكل بدقة أكبر: ومن الصعب أن تبني يداً بارعة فقط من قطع طوب مربعة كبيرة، في حين أنه لو كانت لديك كتل بنيوية بحجم الخلايا الحيوية، يمكنك بناء أشكال أكثر إحكاماً. وهذا يقودنا إلى نقطة هامة أخرى في علم روبوتات الوحدات.

لا يتكون أي كائن حي من نوع واحد من الخلايا، بل من أنواع مختلفة عديدة. وكما ذكرنا سابقاً، على سبيل المثال، يحتوي جسم الإنسان على حوالي10^{14}خلية، مقسمة إلى آلاف الأنواع من الخلايا المختلفة، بناء على مايمكن عدُّه نوعاً. وعليه فإن العمليات المعقدة يمكن إنجازها فقط بوجود عدة أنواع مختلفة من الخلايا، على الأقل في الكائنات الحيوية. ومن خلال (التأثير المشترك: joint effect) بين عدد هائل من الخلايا الصغيرة جداً (أضعاف 10 ميكروميتر) أمكن وجود هذا العدد الضخم من أنواع الخلايا ومن خلال الأطوارأمكن حدوث الإختلافات البيولوجية، التي جاءت نتيجتها أنواع مختلفة من الكائنات تُقَدَّر أعدادها من 30 إلى 50 مليون كائناً

حياً على كوكبنا (إروين، 1988م، 1997م، Erwin).
لذا لا يكفي أن يتكون الروبوت من وحدات فقط؛ بل لابد أن يكون هناك أيضاً تنوع في خلايا الوحدات لنتمكن من الحصول على تنوع في الوظائف. دعونا الآن نرى كيف أن هذه الأسئلة يمكن أن تُتَرجَم في تصميم روبوتات الوحدات.

في علم روبوتات الوحدات لدينا الكثير من الإختيارات عند ممارسة التصميم. يمكننا بناء نوع واحد مفرد من الوحدات التي يمكنها إنجاز تشكيلة مختلفة من الوظائف، وهذا هو المنهج الذي اتبعه استوي (Støy)، وموراتا (Murata)، وإشيجيروا (Ishiguro) في مشروع الهيدرا. وهذه الوحدات البنيوية يمكن أن تلتحم مع الوحدات المجاورة لها ليصبح لديها (دعم هيكلي: structural support)، ويمكنها تشغيل الوحدات المجاورة لها، ويمكنها أن تلتحم أو تنفصل، كما يمكنها أن تشعر ببيئاتها (مثال، يمكنها إستشعار الضوء أو تركيز السكر في المركبات الكيميائية)، كما يمكنها معالجة الإشارات الحسية والحركية. يشير استعمال هذه الأنواع من الكتل البنيوية "العالمية: universal" (نستعمل الأقواس هنا لنشير إلى أنه في الواقع لا يوجد شمول تام) إلى أن الكثير من وظائفها لن يُستَعمل، على سبيل المثال،

ينطبق ذلك في حالة أن هناك كتل داخل الكائن الحي تَستخدم فقط للدعم الهيكلي، مثل العظام، فإن مثل هذا التصميم سيكون مكلفاً وغالباً بدون جدوى. ولكن فائدة الكتل البنيوية العالمية تكمن في المرونة، والتكرار التبادلي (redundancy): إذ يمكن استخدام ذات الوحدة لأغراض عدة، وإذا توقفت الوحدة أو انقطعت عن العمل يمكن استبدالها بوحدة أخرى مماثلة. أيضاً ولأسباب واضحة، تَسهَل إعادة الترتيب الذاتي إذا تم فقط إستعمال نوع واحد من كتل البناء. علاوة على ذلك، في حالة التصنيع بكميات كبيرة، فإن إنتاج نوع واحد من الوحدات فقط سيكون اقتصاديا أكثر بالتأكيد.

قد يرغب البعض في استخدام أنواع مختلفة من الوحدات ويحاول أن يجد حلاً وسطاً: حيث تكون بعض الوحدات مجهزة بإمكانية الارتباط فقط بوحدات أخرى للدعم الهيكلي (لاحاجة للاستشعار، للتشغيل والمعالجة)؛ وبعض الوحدات خاصة بالتشغيل، وبعضها بالاستشعاروغيره. ولكن هذا سيتطلب منا الإهتمام من أن تتوفر لدينا نوع الوحدات الصحيحة في المكان الصحيح. كذلك بالنسبة للإصلاح الذاتي، سنحتاج إلى مخزون من النُسَخ الإضافية لجميع الأنواع المختلفة من الوحدات. من ناحية أخرى، يمكن بناء التراكيب المتخصصة بسعر

أرخص إذا توفرت أنواع مختلفة من الوحدات المتخصصة. وليس هناك حل مطلق أفضل لهذه المشكلة: دائما علينا أن نجد حلا وسطاً بناءً على وظيفة البيئة المعينة، والقيود المالية للمنتج، ومقدار الفعالية المثلى المطلوبة.
والآن دعونا نتفحص إمكانية أخرى لنظم الوحدات: إعادة الإنتاج الذاتي.

7.8 الآلآت إعادة الإنتاج الذاتي (Self - Reproducing Machines)

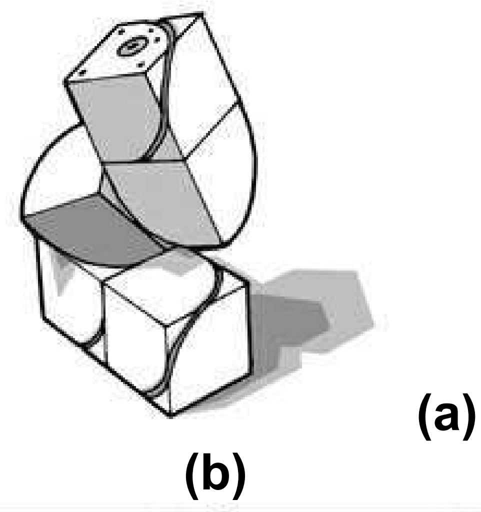
هناك تاريخ طويل من المحاولات لبناء آلات إعادة الإنتاج الذاتي، يبدأ مع جون فون نومان (John von Neumann) أحد مخترعي الحاسبات الرقمية الحديثة وأحد أعظم علماء الرياضيات في القرن العشرين، والذي قدم مساهمات مذهلة غير محدودة في العديد من مجالات الرياضيات. أحد إختراعاته العديدة هوالخلوي الأتوماتيكي (cellular automaton) — وهي ماكينة تجريدية استعملها - مثل ماكينة تورنج (Turing machine) - كقاعدة لوصف الآلية الذاتية لإعادة الإنتاج. إعتقد فون نومان أنه يمكننا النظر إلى الكائنات الحية الحيوية - كآلات متطورة جداً، ومع ذلك، فقد مررنا بهذه الفكرة سابقاً. كما اعتقد أيضاً بأن الجزء المهم للكائن الحي ليس

الشأن الذي صُنِع منه، ولكن بالأحرى المعلومات التي يحتويها. ولقد كان مهتماً أيضاً بشكل خاص بموضوع التعقيد، طارحاً سؤالاً حول معرفة عدد الأجزاء أو المكونات الأساسية التي تحتاجها الآلة لإعادة إنتاج ذاتها: وصف فون نومان الخلوي الأتوماتيكي لإعادة الإنتاج الذاتي على أن يكون مصنوعاً من 200.000 "خلية"، وكل خلية يمكن أن تكون في واحدة من 29 حالة من الحالات المحتملة. منذ ذلك الحين، تم تطويرعدة مكائن تجريدية أخرى، رياضياً وبالمحاكاة، يمكنها أن تعيد إنتاج ذاتها مستخدمة عدد أقل من الوحدات والحالات. عرض نومان ابتكاره عام 1950م، ويجذرالتذكيرأنه عندما ابتكر نومان ماكينة إعادة الإنتاج الذاتي، لم تكن آلية إعادة الإنتاج الذاتي في الجينات قد اكتُشفت بعد ـــــحيث تم اكتشافها (DNA) الوراثية بعد ذلك عام 1953م. وبالطبع فإن، الميكانيكيات التي تعتمد على الجينات الوراثية تكون عادة أنظمة طبيعية مجسدة بالكامل، ولكن من الممكن تحليلها تحت شروط النظرية ــالمعلوماتية (information - theoretic terms): ما مقدار المعلومات الموجودة بها أو التي يمكن أن تحتويها؟

وحيث أننا مهتمون بالأنظمة المجسدة بدلاً من المحاكاة المجردة (abstract simulationst)، سوف لن نناقش جميع أساليب محاكاة إعادة الإنتاج الذاتي ولكننا سوف نصف فقط منهجاً واحداً لبناء فيزيائي حقيقي لآلات إعادة الإنتاج الذاتية. المثير للانتباه، أن أحد أكثر النظم الروبوتية المتقدمة في إعادة الإنتاج الذاتي تم بناؤها مؤخراً في مختبر هود ليبسون (Hod Lipson's labora) في جامعة كورنيل (Cornell University). وكما ذكرنا في الفصل السادس فإن ليبسون، صنع لنفسه إسماً، كباحث في جامعة برانديز(Brandeis University)، كأول صانع لتصاميم روبوتً تطوري ذاتي في مشروع جولم (Golem project) كما تم شرحه في الفصل السادس.

بنى فكتور زيكوف (Victor Zykov) وإيفاستاسيوس مايتلوينوس (Efstathios Mytilinaios) من مختبر ليبسون (Lipson's lab) روبوتاً من ثمانية مكعبات من خلال إلتحام وفصل المكعبات عن بعضها البعض (إنظر الشكل 7.2). بمعنى أن نظامه تصرَّف بعض الشيء مثل وحدات موراتا م - تران (Murata's M - TRAN). والتطور هنا هو أن

الروبوت الشبيه بالثعبان الذي بني من أربعة مكعبات يستطيع التحرك، وفي ذات الوقت يمكنه الإلتحام مع كتل إضافية وضعت في "محطات تغذية feeding stations"، كما يمكن أن تلتحم هذه الكتل مجتمعة مع بعضها في موقع آخر لتبني روبوت ثعباني جديد، مكوناً من أربعة وحدات، ويقوم بوظائفه كاملة. ويوجد في المكعبات "تقطيع cut" في منتصفها: ويمكن للمحرك تشغيل نصف المكعبات من خلال علاقتها مع النصف الآخر، بحيث تستطيع المكعبات الملتصقة بالنهاية الحرة أن تدور بالتعاقب (انظر شكل أ 7.2). وتلتحم المكعبات ببعضها البعض —وتنفصل عن بعضها البعض — باستعمال مغناطيسات كهربائية (electromagnets)، يمكن تشغيلها وإيقاف عملها بواسطة معالج دقيق موجود بداخل كل مكعب (يتحكم المعالج أيضاً في الموتور). يستطيع الروبوت بدون أي تدخل إنساني (ما عدا وضع الكتل في محطات التغذية)، بناء نسخة من ذاته تعمل بفعالية (زيكوف وآخرون، 2005م، Zykov et al).



(a)

(b)

0:00 0:04 0:11 0:20

0:21 0:29 0:42 0:55

1:03 1:20 1:33 1:34

1:42 1:52 2:20 2:34

شكل7.2

أ) روبوت شبيه) .(Cornell) روبوتات إعادة الإنتاج الذاتي: نظام كور نيل الثعبان بأربع وحدات. (ب) الروبوت الرباعي الوحدات يصنع نسخة من ذاته rods :وذلك بأخذ وحدات جديدة من "محطتي تغذية" (القضبان الرقيقة the thin) والتحامها مع الروبوت الجديد. الوحدات تلتحم وتنفصل عن بعضها البعض باستعمال مغناطيس كهربائي ضُمِّن في جوانب المكعبات. والأرقام تشير إلى الدقائق والثواني. لاحظ أن الروبوت الجديد (في الجهة اليمنى) يدير وحداته الذاتية للمساعدة في بناء ذاته.

لا حاجة لذكر إن كان هذا الروبوت أكثر بساطة من الذي توجد (von Neumann's) روبوت فون نومان به 200.000 (self - خلية ذاتية التوالد أو النسخ replicator). أيضاً، فإن سلسلة الأوامر المحركة التي تجعل أول روبوت يلتقط المكعبات ويضعها على الروبوت الذي ينمو ـــ و الأوامر التي تساعد الروبوت الآخر يساعد في بناء ذاته ـــجميعها صممها زيكوف (Zykov). لكل مكعب نسخة من برنامج التحكم الخاص بالإنتاج الذاتي (self - replication)، بينما ترسل المكعبات إشارة إلى بعضها البعض عندما تكون متصلة معاً، وتعطي الأوامر بشأن العمل الذي ينبغي إنجازه في الخطوة التالية. وبالطبع فإن هذه الأوامر يمكن أن تُصَمَّم باستخدام التطور الإصطناعي. في الحقيقة، فعل مجموعة الباحثين ذاتها ذلك، ولكن في عملية محاكاة، واستخدموا فيها فقط كتل ثنائية ـ الأبعاد بدلاً عن كتل ثلاثية ـ الأبعاد.

والسبب أن النسخ الذاتي في هذه الحالة يعمل بإستخدام وحدات قليلة (أربعة بدلاً من 200.000 كما في دراسات فون نومان) لأن الوحدات الفردية معقدة جداً. وفي الواقع، إن الوحدات في حد ذاتها تُعتبر، بصورة أو بأخرى، روبوتات فعالة لها مهام وظيفية. إن وحدات زيكوف ومايتلينوس (Zykov and Mytilinaios) لها دوائرها التشغيلية الخاصة بها، ومشغلاتها، وطرق التحامها وفصلها من بعضها البعض، و برامج تحكم الكمبيوتر. وبالرغم من أن زيكوف وزملائه تعرفوا فقط على النسخ الذاتي باستعمال أربعة وحدات، إلا أنهم أثبتوا نظرياً، بأن الروبوتات المصنوعة من وحدات أكثر من ذلك يمكنها أيضاً إعادة إنتاج ذاتها بإستخدام هذه الآلية: وبديهي أن هذا سيتطلب سلسلة أطول من الإجراءات من تلك الموضحة في شكل (7.2 ب) نظراً لتعقيد الحالات. النقطة الهامة هنا هي إيضاح أن الإنتاج الذاتي يمكن تحقيقه في الأنظمة الاصطناعية على المستوى الميكروسكوبي ـــمستوى الكائن ـــ وليس فقط على المستوى الجزيئي (كما في كيمياء النسخ الذاتي). بالطبع هذه فقط خطوة بسيطة للأمام: إن الوحدات ذاتها معقدة جدا وقد صممها وبناها الإنسان، ويجب أن تُزوَّد الروبوتات بالطاقة، وتتم برمجة سلوك الروبوت مسبقاً،

كما أن أجزاء الروبوت الجديد يجب أن تُصنع باليد وتوضع في مكان خاص حتى يتمكن الروبوت الأب من إيجادها وهكذا، يظل هناك الكثير ممايجب القيام به قبل أن نقترب من إنتاج مكائن النسخ الذاتي الحقيقية.

7.9 الذكاء التجميعي: أين نحن وإلى أين سنتجه من هنا ؟

لقد شاهدنا العديد من الأمثلة الممتعة عن الذكاء التجميعي سواء بالمحاكاة أو من خلال الروبوتات الفعلية: نماذج الفصل العنصري،و لوغاريتمات الأسراب التي استخدمت في أفلام هوليوود، ومجموعات الروبوتات التي تغطي منطقة ما أو تتعاون لتحمل أشياء ضخمة، وروبوتات تستطيع لعب كرة القدم بدرجة مدهشة من الكفاءة، وروبوتات وحدات تستطيع تغيير شكلها من شكل اليرقة إلى شكل الثعبان أو وروبوتات تمشي، وأنظمة الصيانة الذاتية، وحتى روبوتات قادرة على إعادة إنتاج ذاتها، أي قادرة على صنع نسخ كاملة من ذاتها في العالم الحقيقي. ولكن رغم قوة الذكاء التجميعي ورغم أن فكرة السلوك غير المبرمج والظاهرة التجميعية كانت موجودة منذ فترة طويلة، إلا أنه يدهشنا نوعاً ما أن هذه الأبحاث ليس لها إلا القليل من التأثير على فهمنا للذكاء، وكيف أن القليل فقط من هذه الأنظمة تم تحويله إلى تطبيقات

عملية. ولاتزال التطبيقات الخاصة بالتسلية، لم يلعب فيها السلوك غير المبرمج دورا أساسيا بعد.

أحد التطورات الناجحة في الذكاء التجميعي، بلا شك، هو كأس الروبوتات (RoboCup): مبادرة معروفة عالميا، وجذبت الكثير من الباحثين المبدعين والمتفرجين إلى الاجتماعات التقنية والمنافسات، كما طورت فهمنا، بشكل كبير، عن تعاون الروبوتات وعن سلوكها في البيئات سريعة التغير. إضافة إلى ذلك، فقد شقَّت الفكرة طريقها داخل المدارس، حيث أصبحت معروفة جدا كأداة تعليمية قيمة وعالية الكفاءة. ولكن المبادرة لم تنتج حتى الآن أي تطبيق عملي تعمل فيه الروبوتات بشكل جماعي ومستقل على أداء مهمة في العالم الحقيقي. ينطبق ذات الشيء على ذكاء الأسراب، وهو مجال مزدهر آخر للذكاء التجميعي: في ذكاء الأسراب، دُرِسَت مجموعات كبيرة من الكائنات، ويعد السلوك غير المبرمج هدفاًأساسيا للأبحاث. ولكن رغم وجود العديد من الاقتراحات لتطبيقات رائعة، مثل فكرة استخدام لوغاريتمات النمل لموازنة التحمل (balancing load) في شبكات الكمبيوتر، يوجد عدد محدود من التطبيقات الحديثة التجارية التي تتواصل فيها أفراد الكائنات (أي النملات الإلكترونية) في نطاق محلي مع بعضها البعض، ولكن

هناك تطبيقات أخرى ممتعة. في جميع أنحاء أوروبا، تُستخدم لوغاريتمات النمل الآن لتسيير شاحنات لسلسلة وصانعي (Migros) متاجر سويسرية تسمى ميقروس كذلك استخدم إير .(Barilla) المكرونة الإيطالية باريللا (AirLiquid - USA) - ليكويد في الولايات المتحدة مثل تلك اللوغريتمات لحل الكثير من المعضلات اللوجستية. لكن جميع هذه التطبيقات تستخدم كائنات افتراضية بدلا من روبوتات العالم الحقيقي. ولم يتم بعد تحقيق إستخدامات لذكاء السرب في العالم الحقيقي —— بحيث تتعاون العديد من الروبوتات لإنجاز مهام —— في الحياة اليومية. ويمكن ذكر الشيء ذاته عن روبوتات الوحدات: حيث لا يوجد حتى الآن سوى القليل من التطبيقات، التي استخدمت فيها فعلا روبوتات الوحدات في أداء مهام يومية.

كذلك تظل الروبوتات ذاتية الإنتاج بعيدة جداً عن التحقيق الفعلي. فحتى الآن لم نصل بعد إلى أي تطبيق في العالم الحقيقي، بالرغم من أنه باستطاعتنا رؤية عدد هائل من الإمكانيات لإستخدامها في استكشافات الفضاء أو في أي نوع من البيئات التي يصعب على الإنسان الوصول إليها في حين يمكن للروبوتات البقاء فيها لفترة زمنية طويلة. كما أنها سوف تجعل مقدرة الإنتاج الذاتي

للكائنات أكثر كفاءة مع مرور الزمن، على الأقل، على مستوى المجموعة. كما أن التطور في تكنولوجيا النانو يمكن أن يوجهنا نحو تطبيقات عملية لهذه الأفكار.

ذكرنا حتى الآن بعض الأسباب التي تفسر لماذا نجد فقط القليل جدا من التجارب في العالم الحقيقي. ولقد ذكرنا تكلفة الأجهزة العالية وأنه غير موثوق بها، ونقص الثقة بالسلوك غير المبرمج، والفكرة العامة بأن التنظيم الذاتي قد يكون ضروريا للبقاء في الأنظمة الحيوية ولكنه أقل فائدة في المهام الهندسية، حيث يكون نظام التحكم من الأعلى – للأسفل، هو المسيطر في السلوك الشامل بدقة بصورة أفضل لإستخدامه في أنظمة الروبوتات المتعددة من إستخدام السلوك غير المبرمج والتنظيم الذاتي. لذا، يبدو أنه يوجد عاملين يشدانا إلى الوراء: التقنية والمفاهيم. وحيث أنهما مرتبطان ببعضهما، لذلك دعونا نتحدث عنهما بعض الشيء هنا.

إن الأجهزة غير الموثوق بها والعالية التكاليف تعتبر حالياً من المسائل المستعصية التى تقف دون التقدم السريع. بالإضافة لذلك، أن الروبوتات يتم إنتاجها بأعداد ضخمة، و بسبب التكلفة العالية تكون عادة بسيطة وتفتقد إلى الإستشعارات الراقية ومهارات التحرك. إن وضع الروبوتات المقيد نسبياً قد يكون جزءا من السبب

لمشاهدة أنواع متماثلة من السلوك في التجارب ـــ التجمع، والتفرق، والتنظيف، والبحث عن الغذاء، والدفع التعاوني، وبناء - الخرائط، وبعض مهام التركيب البسيطة. فالروبوتات المستخدمة في مباريات الروبوكب (RoboCup)، مصممة فقط بالقليل من التعقيد الحسي - الحركي، والقليل منها فقط يستخدم في ألعاب ـــأقل بكثير من العدد المطلوب في مباريات كرة القدم الحقيقية. وإلى أن تتوفر الروبوتات بأعداد هائلة وأسعار رخيصة ـــ "كائنات للعامة "، كما سميناها سابقا (فيفر وشيير، 1999، Pfeifer and Scheier) فقد لا يزدهر هذا الحقل البتة. مجتمعات المعلوماتية الحقيقية، بكل إمكانياتها، تطورت فقط بعد أن أصبحت الحواسيب والشبكات متوفرة للملايين في جميع أنحاء العالم. ونحن على يقين بأن ثورة إجتماعية مماثلة وسوف تحدث بمجرد أن تغزوا المكائن الفيزيائية الروبوتية عالمنا بأعداد هائلة. وهكذا، فالمسألة ليست تقنية فقط ولكنها أيضا اقتصادية.

لقد واجهنا بعض الصعوبات التقنية في روبوتات الوحدات: آليات الانفصال - والإلتحام، والقوة المنخفضة للمشغلات، والطاقة المتوفرة، والتعقيدات الموجودة لمراقبة أعداد كبيرة من الوحدات، والمسائل ذات الصلة

بتغيير المقاسات. ولكن العديد من المفاهيم ذات العلاقة أيضا تعمل على تعطيل هذه التقنية: هنالك بالتأكيد محدودية في فهم الذكاء التجميعي، والسلوك غير المبرمج، والتنظيم الذاتي. بالطبع، فهذه مفاهيم صعبة، وأكثر صعوبة على الفهم من التحكم من الأعلى –إلى الأسفل. حيث يؤدي نقص التقنية الملائمة في الزمن المناسب إلى إعاقة تقدم المفاهيم: حيث لم تكن الفرصة مواتية لتجربة التعامل مع مجموعة كبيرة من الروبوتات أو مع روبوتات وحدات تتكون من عدد كبير من الوحدات الصغيرة جدا على نطاق واسع، حيث لم نكن قادرين على بناء إطار عملي ذي مفهوم ملائم. ولأننا لم نتعود على التفكير من خلال السلوك غير المبرمج وتوفير أنواع جديدة من الأشكال المتكيفة، فمن الممكن ببساطة أننا نفتقد إلى الخيال الكافي لإقناع ما يمكن أن تفعله روبوتات ذات تركيب متكيف ومختلف تماما عن التركيب الأصلي، وقد يتغير الوضع مستقبلاً مع التطورات التقنية والتقدم الذي سيتم في تصميم الروبوتات التطورية. ومن الممكن لأنواع جديدة من الروبوتات أن تعمل بطرق جديدة تماما، فتتسع قائمتنا من التطبيقات التجارية لهذه الأنواع من الروبوتات. أيضاً، إن هذه التطورات في الحقيقة قد تقودنا إلى أشكال جديدة تماما من الذكاء.

في الختام دعونا نعود إلى عنوان هذا الفصل: " من التفاعل نحو الإدراك". تعمدنا ألا نتحدث كثيرا عن الإدراك في هذا الفصل، وتحدثنا أكثر عن (أنماط السلوك العالمية: global behavior patterns). إن مصطلح أنماط السلوك العالمية يعود إما إلى مجموعة كائنات تؤدي بعضاً من المهام التجميعية، أو إلى فرد مصنوع من (وحدات متعاونة: cooperating modular units). الفكرة من وراء ذلك هي إحراز سلوك متطور بأقل قدر ممكن من السيطرة للاستفادة من التفاعل، وذلك من خلال استغلال إمكانيات المجموعة.

7.10 ملخص: مبادئ التصميم للنظم التجميعية

إن جميع الأمثلة السابقة ــــ(الأنظمة التجميعية: collective systems)، (النمذجة المعتمدة على الكائن: modeling agent - based)، (مجموعات الروبوتات: groups of robots)، (التعاون: cooperation)، (روبوتات الوحدات: modular robots)، و(ماكينات إعادة التعريف والإنتاج الذاتي: self-reconfiguring and self-reproducing machines) ــــ لابد وأن توضح بأننا لا نتعامل مع مواضيع موحدة ومحددة. ولكننا مع ذلك، سوف نلخص بإيجاز المبادئ الأساسية التي ينبغي علينا

ملاحظتها عند التصميم مستخدمين الذكاء التجميعي، أو ما قد نرغب في تطبيقه عند تحليل الأنظمة الحيوية.

أولا: (مبدأ مستوى التجريد: Level of abstraction principle): إن مصطلح (الذكاء التجميعي: collective intelligence) لا يُطبَّق فقط على مجموعات من الأفراد (كما في مجتمعات الحشرات، أوالحيوانات، أوالبشر، أو الروبوتات)، ولكن أيضاً وبالمثل على أي نوع من التجمع لكائنات متشابهة، مثل مجموعات الخلايا، أو مجموعات الوحدات في أنظمة روبوتات الوحدات. وعندما نتكلم عن الذكاء التجميعي يجب علينا أن نعرف بوضوح مستوى التجريد الذي ندرس من خلاله الكائنات: عندما نتحدث عن السلوك الحشري، على سبيل المثال، فإننا نلخص تفاصيل خلايا الكائن الحي الفردية أو جزيئاته. ويسمى هذا (مبدأ مستوي التجريد: level of abstraction principle).

ثانيا: (مبدأ التصميم للسلوك غير المبرمج: Design for emergence principle): يجب علينا التركيز على التصميم للسلوك غير المبرمج بحيث نحصل على المهمة المرغوبة ـــــ مثل العزل العنصري في المجتمع، إيجاد أقصر طريق لمصدر الطعام في مستعمرة النمل، أو

حركة وتشكل السرب في مجموعة من الطيور ـــــدون برمجة مباشرة للكائنات ولكن من خلال إنبثاق السلوك من مجموعة قوانين بسيطة تتفاعل محلياً. وبالطبع، تطورت تطبيقات مشوقة من خلال برمجة مباشرة لمجموعات روبوتات، ولكن يتميز التصميم من أجل السلوك غير المبرمج بعدد من الفوائد. لأن أنظمة السلوك غير المبرمج تعتمد على عمليات التنظيم الذاتي التي تتطلب تحكماً أقل، وتميل إلى كونها أكثر تكيفاً وقوة وأقل كلفة أيضاً. إن التصميم للسلوك غير المبرمج يتطلب منا أن نفكر بشكل مختلف، مثلاً، في حالة التفاعل الاجتماعي، لأن أكثر ما كنا نعتقده يقع ضمن تحكم الوعي فهو في الحقيقة ردود فعل لتفاعل محلي. وفائدة أخرى للسلوك غير المبرمج هي تغيير المقاسات: إذا كان السلوك الشامل ينبثق من قوانين محلية، إذن من الممكن استخدام كائنات أكثر أو أقل دون التأثير على السلوك الشامل. ويسمى هذا (مبدأ التصميم للسلوك غير المبرمج: design for emergence principle). وهو يرتبط مباشرة بمفاهيمنا العامة عن السلوك غير المبرمج، ولكننا نركز عليه من منطلق الذكاء التجميعي لأنه يبدو من الصعب تحديد القوانين المحلية للتفاعل التي ستؤدي إلى السلوك الشامل

المرغوب. وعند تطبيق هذا المفهوم على تحليل الأنظمة البيولوجية، ينص المبدأ على وجوب البحث عن قوانين التفاعل المحلية التي تنتج الأنماط السلوكية الشاملة التي نرغب في دراستها، مثل سرب الطيور.

ثالثا: (مبدأ من الكائن نحو المجموعة From agent to group principle): يمكن تطبيق مبادئ تصميم الكائن (من الفصل الرابع) على مجموعات من الكائنات، وليس فقط على الأفراد. على سبيل المثال، تعد مجموعة الكائنات متوافقة مع مبدأ العمليات المتوازية الضعيفة الترابط لأن كل كائن يمكن أن يفسر على أنه عملية وأن هناك العديد منها. وترتبط الكائنات بشكل ضعيف إما من خلال البيئة، كما في التفاعلات البيئية غير المباشرة وتظهر في عملية ترك أثر من الفيرومون (pheromone trail) في خط السير، أو ترتبط بواسطة قوانين تفاعل محلية (مثل تتبع كائنات أخرى، أوالاصطفاف مع كائنات أخرى في السرب). ويمكن أيضاُ تطبيق مبدأ التصميم الرخيص: غالبا ما يكون أقل تكلفة تصميم نظام لروبوتات متعددة تتكون من مجموعة من الكائنات البسيطة لإنجاز مهمة معينة من استخدام روبوت واحد شديد التعقيد، بحيث تكون مهمته مثلا نقل أو تحريك أجسام كبيرة. ويرتبط مبدأ التكرار

التبادلي أيضا بالنظم التجميعية، لأن الكائنات المتعددة توفر خاصية التكرار التبادلي بطرق طبيعية، فهي غالبا ما تمتلك وظائف متداخلة بشكل كبير. ويطلق على هذا المبدأ: from agent to (من الكائن نحو المجموعة group) وينص في جوهره على أنه يمكننا دائماً محاولة ترجمة مفاهيم تصميم الكائن في نطاق الذكاء التجميعي.

- رابعا: (مبدأ التجانس والتغاير Homogeneity - heterogeneity principle): عند تصميم نظام روبوت وحدات، يجب إيجاد حل وسط بين النقيضين، فإما توفر نوع واحد من الوحدات ذات الغرض العام أو توفر عدد من الوحدات المتخصصة المختلفة. ويعود هذا لأسباب تقنية أكثر منها مفاهيمية، لأنه لا يمكننا الحصول على عمليات انقسام خلايا (أو انقسام وحدات)، ولا الحصول على الوحدات المتخصصة الوظائف في العالم الحقيقي بواسطة التكنولوجيا الحالية. ويمكننا محاكاة الوحدات المتخصصة، مثلا، عن طريق إيقاف مكونات معينة في الوحدة، ولكن في هذه الحالة سيكون هناك الكثير من المصادر غير مستخدمة، وغير مستفاد منها "hanging around"، وهذا غير متوافق مع مبدأ التصميم الرخيص. ولكن من منظور مبدأ التكرار

التبادلي، فإن توفر وحدة "عالمية universal": واحدة مفيدة لأن أي وحدة يمكن أن تؤدي أي وظيفة (ضمن إمكانات تصميم كتلة البناء). وبالطبع، يمكننا تطبيق هذا على أنظمة الروبوتات المتعددة، حيث يكون علينا أن نقرر إما أن نستخدم نوعاً واحداً فقط من الروبوتات أو عدداً من الروبوتات المتخصصة. ويدعى هذا مبدأ التجانس والتغاير (homogeneity - heterogeneity).

وبهذا ننهي الجزء النظري—الصعب نوعاً ما — من هذا الكتاب. وسنتجه الآن للجزء الأسهل: الجزء الثالث، الذي يلخص عدداً من تطبيقات الذكاء المجسد ويناقش كيف أن خصائص ومبادئ الكائنات الذكية التي طورناها من الفصل الثالث حتى الفصل السابع مرتبطة بهذه التطبيقات.

الجزء الثالث
تطبيقات ودراسات حالة

سوف نستكشف في هذا الجزء من الكتاب كيف تغير نظرية التجسيد، كما ناقشناها، الطريقة التي ننظر بها الى أنفسنا والى العالم من حولنا. مرة أخرى نكررأن المسألة الحقيقية لا تكمن في تحقيق أعلى مستوى من التقدم التقني أثناء بناء الروبوتات أو عن التقنيات المتُضَمَّنة بها، ولكن تكمن في ما يمكن تعلُّمه وما نوعية الرؤية التي إكتسبناها حول الذكاء من خلال إنجازنا لهذه التقنيات ومن خلال الإطار النظري الذي أسسناه.

سوف نستكشف أربعة مجالات مختلفة تماماً وهي: حاسبات كل مكان، والإدارة، وعلم نفس الذاكرة البشرية، والروبوتات وتقنيات الذكاء الاصطناعي في حياتنا اليومية. وسوف نبين أن منظور التجسيد يمكن أن يسلط ضوءاً جديداً على جميع المواضيع. دراسات الحالات التي نعرضها في هذا الجزء منفصلة عن بعضها البعض ويمكن قراءتها في أي تسلسل أوتجاوزها. لقد حاولنا في الفصول السابقة أن نحافظ على صورة تنظيمية نسبياً. ولأننا فيما يلي سوف نُمْعِن النظر في دراسات حالات ضمن مجالات علمية غير متقاربة في طبيعتها، فإن

منهجنا سوف يميل إلى أن يكون استكشافيا أكثر وليس له هيكل ثابت. ويمكن للقارىء الذي يهتم بالجوانب المتعلقة بالنظريات والمفاهيم بالدرجة الاولى أن يتخطى هذا الجزء وينتقل مباشرة إلى الجزء الرابع، حيث تتم فيه مناقشة الرؤى والمفاهيم الأساسية لهذا الكتاب.

سنتعرَّض في الفصل الثامن إلى حاسبات كل مكان، وهو مجال حديث في علوم الحاسبات اكتسب الكثير من الزخم في الآونة الأخيرة، يهدف إلى تمكين المستخدم من استعمال التقنية في البيئة المفتوحة، بدلا من التركيز على تطوير أنظمة ذكية بحد ذاتها. وعلى الرغم من أن مجال تخصص حاسبات كل مكان والذكاء الاصطناعي منفصليين نسبياً في الوقت الحالي، إلا أننا نؤمن بأن هناك تداخل كبير كامن بينهما وأن الكثير يمكن إكتسابه من تطبيق مبادئ التصميم للأنظمة الذكية في حاسبات كل مكان.

بعد ذلك، سوف نتفحص في الفصل التاسع طرق إستخدام مبادئ التصميم لمساعدة المدراء و(أصحاب قطاع الاعمال (entrepreneurs: على ابتكار وإدارة الشركات والمؤسسات حتى تتمكن من التكيف والبقاء في بيئة القرن الحادي والعشرين الديناميكية، والغامضة بحيث أن النجاح فيها غير مؤكد، والتى تتسم بمستوى

عالٍ من التنافسية الإقتصادية. إن ما نجده مثيراً بصورة خاصة هو أنه يمكننا أن نتعامل مع نظريات الإدارة المعروفة من منظور جديد، وأن بعض الجوانب المهمة للإدارة قد أهملت بصورة كبيرة. كما توضح دراسة الحالة المعروضة في الفصل التاسع أن تطبيق مبادئ التصميم لا يسير في إتجاه واحد، ولكن المجال في حد ذاته —— الإدارة وقطاع الأعمال الناشئة —— يضيف مسائل مثيرة لنظريتنا في الذكاء، وكذلك لمبادئ التصميم.

في الفصل العاشر سنعود إلى موضوع ذي صلة مباشرة بدراسة الذكاء: وهو الذاكرة الإنسانية. وسوف نستعرض في ذلك الفصل كيف أن وظيفة نفسية مثل الذاكرة، والتي تُنسب عادة بصورة عالية إلى الإدراك، يمكن أن تُفهم بشكل أفضل كثيراً عندما يُؤخَذ التجسيد في الاعتبار. ومرة أخرى، سوف نرى كيف تستطيع مبادئ التصميم أن تُوجِّه موضوع الدراسة للذاكرة الإنسانية. ونحن نجد أن دراسة الحالة هذه مثيرة لسببين. فمن جهة، يساعد منظور التجسيد في إيضاح كيف أن المفاهيم التقليدية عن الذاكرة – مثل تشبيهها بالمخزن – غير ملائمة. ومن جهة أخرى، فإنه يزودنا بالأسس النظرية لتطويرنظريات بديلة للذاكرة، مثل النظرة البيئية للذاكرة، والذاكرة كنظام ديناميكي.

أخيراً، في الفصل الحادي عشر سوف نستعرض بإيجاز أحدث النماذج الفنية في الصناعة اليدوية للروبوتات، وسنركز على وجه الخصوص على تلك الروبوتات التي خرجت من مختبرات البحث ودخلت إلى العالم الحقيقي الواقعي فأصبحت – أو ستصبح قريباً – جزءا من حياتنا اليومية. لأن تلك الروبوتات موجودة فعليا في العالم الحقيقي الواقعي وتتفاعل مع البشر ومع البيئة الطبيعية، فمن الواضح أنه لا يمكن أن تكون تلك الروبوتات "أشياء" تجريدية ومعزولة، لذلك فإنه من الضروري والمفيد جداً أن تُؤخذ في الإعتبار مبادئ التصميم التي تتعامل مع الأنظمة المجسدة. مرة أخرى، نشعر أنه اذا تمت الاستفادة من المفاهيم النظرية الخاصة بمبادئ التصميم، فمن الممكن أن يخطو, هذا المجال خطوات واسعة إلى الأمام.

معظم دراسات الحالة تستخدم مجموعة مبادئ التصميم الأساسية التي تم سردها في الفصل الرابع، ولكن مبادئ التصميم بالنسبة للتطوير، والتطورية، والذكاء التجميعي لا تُطبَق بشكل أكثر تناغما. وهذا يعود إلى أنه حتى الآن يوجد فقط عدد قليل جداً من تطبيقات الروبوت. بالطبع، توجد روبوتات تطورية، ولكن بالرغم من أن التطور الذكي غالباً ما يُطبق كمنهج أمثل، فإن

الطرق الأكثر تقدماً في الشبكات التنظيمية الوراثية لم يتم إستخدامها بشكل كبير لتصميم روبوتات ذكية. أيضاً، نضيف أن الروبوتات المجسدة فعليا قد صُمِمت وبُنيت يدوياً من منظور "هنا - و - الآن"؛ باستثناء مراحل التعلم القصيرة، وعليه فالتطوير لم يلعب دورا مهما في هذه الحالة. كذلك، وكما رأينا سلفاً، فإن تطبيقات الروبوتات التجميعية وربوتات الوحدات في العالم الحقيقي الواقعي– خارج مختبر البحث – تُعد نادرة حتى يومنا الحالي. ونحن نعتقد بأنه في المستقبل سوف تلعب مبادئ التصميم دوراً أكثر أهمية في تطبيقات الروبوتات التطويرية و التطورية والتجميعية بحيث تصبح أكثر شيوعاً. ولكن في الزمن الحالي، فإننا نشعر أنه بإمكاننا إستعراض قوة وإتساع تطبيقات نظريتنا باستخدام مجموعة مبادئ التصميم الأساسية لمنظور "هنا - و - الآن".

الفصل الثامن

حاسبات كل مكان وتقنيات الواجهات

Kenفي عام 1984م، بدأ كين سكامورا Sakamura) عالم الكمبيوتر التنبوئي بجامعة طوكيو) التفكير بمستقبل الحاسوب إلى ما بعد الحاسوب المحمول، وقد طور رؤية سماها "الحوسبة في كل مكان: everywhere computing". كانت إحدى أفكاره أن عدد الحواسيب المحمولة التي وصلت إلى الأسواق من فترة قصيرة لن تتجاوزفي كميتها عدد البشر على كوكب الأرض، بينما عدد (النظم المُتَضَمَّنة :systems embedded) وهي الأنظمة المجهزة بالإستشعارات والمشغلات ذاتية التحرُّك في العالم الحقيقي الواقعي، بالتأكيد سوف يتجاوز عددها البشر الموجودين على كوكب الأرض ويفسر ذلك عملية حسابية بسيطة. إن المنزل الواحد سيحتوي على الأقل على 100 من المعالجات الدقيقة المُتَضَمَّنة (embedded: microprocessors) والمزودة باستشعارات ومشغلات مناسبة لوظائفها. كان هذا عندما بدأ مشروع ترون (TRON) الذي يرمز إلى (نواة نظام تشغيل الزمن الحقيقي: NucleusThe Real - time

وقد كان يهدف هذا Operating system)، المشروع إلىإيجاد البنية التحتية التي ستحقق هذه الرؤية.
في عام 1988 م، بدأ سكامورا في مغامرته التي سماها ترون "منزل ترون الذكي :TRON Intelligent House"، فجهز منزلاً مساحته 330 متر مربع به 380 حاسوباً والعديد من الإستشعارات والمشغلات، وقد كان ذلك في إقليم نيشي أزابو (Nishi - Azabu) التابع لطوكيو. وقد تم إنجاز هذا المنزل في عام 1989م:
"وبالطبع مُلئ المنزل بالعديد من (الأدوات الحاسوبية: computerized gadgets). وقد تم عرض المعلومات الخارجية (من تلفاز وراديو و هاتف وغيره) وجميع المعلومات الداخلية (من النظام السمعي البصري، و هاتف الباب المُتلفز، والاتصال الهاتفي الداخلي، واستشعارات الأمن وغيره) و بعد تجميعها وتصنيفها تُبثت داخل وحدات عرض متوفرة في كل غرفة... المطبخ مثلا حيث يجهز بنظام عرض فيديو لوصفات الطعام، حيث سُجلت جميع المعلومات وخُزنت بالفيديو أوتوماتيكياً في مكان بعيد عن الأنظار وحفظت في منطقة المخزن بالسرداب. المرحاض كان أوتوماتيكياً بشكل كامل من الباب و غطاء الفتح للغسيل اليدوي والتجفيف"[1].
كانت مهمة التصميم الأساسية في منزل ترون هي جعل

التقانة المحركة لكل هذا خفية، وكانت هذه مشكلة غير بسيطة في وقت لم تكن فيه تقانات التصغير متوفرة بسهولة كما هي في الوقت الحاضر.

في ذات الزمن تقريباً، صاغ مارك وايزر (Mark Weiser) من زيروكس بارك (PARC Xerox)، وهو مركز بحوث بالو ألتو لشركة زيروكس (Palo Alto Research Center of Xerox Corporation) في كاليفورنيا، وقد كان يفكر بطريقة مشابهة، مصطلح (حاسبات كل مكان :ubiquitous computing). بالرغم من أن وايزر كان يعد في الغرب "الأب لحاسبات كل مكان"، إلا أن كين سكامورا يعد الأب الحقيقي في دول آسيا وأحد المختصين. من المفترض أن هناك حقيقة ما في كلا الرأيين. على كل حال، فقد أدرك سكامورا أهمية امتلاك الأدوات المتوفرة لتحقيق حلمه بأن تُوضع التقانة في كل مكان في العالم الحقيقي للإستخدام: مشروع ترون، الذي لاقى، في هذه الأثناء، نجاحا عالميا. ويمكن أن يُستخدم نظام تشغيل ترون في جميع أنواع الأجهزة والأدوات مثل الكاميرات الرقمية، ومحركات السيارة، والهواتف الخلوية، وأجهزة الفاكس كما يمكن شحنها سنوياً على نحو تقديري ضمن اثنين أو ثلاثة بليون أداة حول العالم، في حين أن نظام

التشغيل ويندوز يُشغّل في حوالي 200 مليون كمبيوتر سنويا.

كانت أفكـار كلاً من سكامورا و وايزر هي دمج الحاسب مع البيـئة بدلاً من (إضافة وتحديث augmenting) الحاسب الشخصي. ولكن لماذا نـهتم الآن بذلك في سياق هذا الكتاب؟ حتى عندما يتكلم الباحثون عن المباني الذكية والغرف الذكية والكراسي الذكية والسيارات الذكية والهواتف الذكية والملابس الذكية وكل شيء ذكي، فإن هدفهم بالمقارنة مع هدف الباحثين في الذكاء الاصطناعي، لا يتعلق كثيراً بتطوير هيئات ذاتية الذكاء أو فهم الذكاء الطبيعي، ولكن هدفهم ابتكار بيئات وأجسام مصممة — نظم من صنع الإنسان — تستوعب بصورة مستمرة احتياجات المستخدمين. إنها فرضيتنا وهي لو أُستُغلت القوة الحقيقية لتقنية حاسبات كل مكان، فإن البيئات والأجسام التي فيها يجب أن يكون لديها مستوى معين من الذكاء الذاتي ويجب أن تكون لديها خصائص الكائن.

في هذا الفصل سوف نكمل كما يلي: سنبدأ بملاحظة قصيرة عن المصطلح. ثم، لأن حاسبات كل مكان سوف تمكن المستخدم من إضافة وتحديث البيئة، فإننا سنبدأ بالتنقيب في تقنية حاسبات كل مكان من وجهة نظر مبدأ

الثلاثة العناصر المتناهية الدقة ثم ندقق النظر في أهمية التنصيب. وبعد ذلك، سوف نناقش خصائص تقنية حاسبات كل مكان، بصورة مماثلة للطريقة التي اتبعناها في دراستنا لخصائص الكائن في الفصل الرابع. يلي ذلك محاولة لتطبيق بعض مبادئ التصميم. وأخيراً، سوف نتحدث عن كيفية تفاعُل البشر مع تقنية حاسبات كل مكان وماذا يحدث عندما تصبح أعضاءنا مدمجة بشكل متكامل مع التقنية؛ بمعنى عندما نصبح كائنات حيوروبوتات أو سايبورغ.

قبل أن نواصل، علينا إيضاح الملاحظات عن المصطلح. لقد استعمل الباحثون في المجال مصطلحات عديدة حسب نوع تطبيقات الحاسبات التي يفكرون بها. معظم التعابير التي استُعملت، مع بعض الاستثناءات الواضحة، صيغت أصلاً في الولايات المتحدة الأمريكية. سنتفادى هنا كما يجادل الغير حول المصطلحات والتعابير ونتعامل معها بشكل مترادف تقريباً:) الحوسبة في كل مكان: everywhere computing) (كين سكامورا، Ken Sakamura)، 1984، طوكيو (حاسبات كل مكان:ubiquitous computing) (مارك ويزر، Mark Weiser)، Xerox PARC، 1988) (حوسبة هادئة: calm computing)

(1996 ،جون براون، Xerox PARC، John Brown)، (حاسبات عالمية: universal computing) (1998 ،جيمس لاندي، Berkeley، James Landay)، (حاسبات غير مرئية: computing invisible) (1999 ،جي باريلو، University of Washington، G. Barriello)، (حاسبات خارقة: pervasive computing) (2000 ،اكاديميا، SAP، IBM، Academia)، (حوسبة المحتوى:context - based computing) (1999 ،بركلي/ أي بي إم، IBM Berkeley/)، (حاسبات خفية: hidden computing) (1999 ،توشيبا، Toshiba)، (البيئة الذكية: ambient intelligence) (المفوضية الأوروبية، FP5، European Commission)، (حاسبات كل يوم: everyday computing) (2000 ،جورجيا تك، Georgia Tech)، (حاسبات حساسة: sentient computing) (2000 ،أية تي آند تي، AT&T)، (حاسبات ذاتية الحكم: autonomous computing) (2000 ،آي بي إم، IBM)، (حاسبات متبلورة: amorphous computing) (داربا،

جميع هذه التعابير أَخذت من) DARPA، 2000).
المحاضرة التمهيدية التى ألقاها أليوس فيرسكا (Alois Ferscha) عام 2004م، في مؤتمر " حاسبات كل مكان: ubiquitous computing"). في هذا الفصل سوف نستخدم مصطلح (حاسبات كل مكان:ubiquitous computing) ـــ حتى نؤكد الحقيقة وهي أننا لن نتحدث فقط عن عمليات حاسوبية مجردة ولكن أيضاً عن إستشعارات ومشغلات وغيره؛ بإيجاز عن صناعة نماذج فنية مجسدة ـــ تقانة حاسبات كل مكان. الآن سوف نكتشف كيف نستطيع ربط أفكارنا عن الذكاء مع هذا المجال.

8.1 تقانة حاسبات كل مكان مثل التنصيب

مجال حاسبات كل مكان هو مجال بحث مثير وإبداعي ومتعدد الأوجه ولا يمكن رسم ملامحه بسهولة ووضوح. أيضاً، طرح هذا المجال العديد من مواضيع جديدة في البحث، مثل كيف يمكن أن تُضاف وظيفة الأجسام إلى المعالجات الدقيقة و(تقانة الإستشعار - المشغل: sensor - actuator technology)، وكيف نستطيع المواجهة والتعامل معها، وكيف يمكن ربطها مع الأجسام ضمن شبكة لزيادة قوتها، وهلم جرا (انظر الشكل 8.1). في حين أن بعض مظاهر حاسبات كل مكان

تتعلق بالذكاء الاصطناعي ـــ وحقيقة أن الأنظمة التي تحت التطوير المتضمنة في العالم الحقيقي، لديها بعض مميزات الكائن، وأنها جزئيا لديها القدرة على التعلم الذاتي من البيئة بمستوى معين من الاستقلالية والتحكم الذاتي ـــ إلا أن المظاهر الأخرى منفصلة ـــ وهي لا تهتم بالذكاء الإصطناعي بصورة مباشرة ـــ مثل قضايا الشبكات، قضايا (مدى ابعاد الاستشعار - sensor range) في (الترددات اللاسلكية لتحديد العلامات: radio frequency Identifier tags) (RFIDs)، و(البنية التحتية للخوادم: server infrastructure).

وتذكر لبرهة ما ذكرناه في الفصل الرابع عن مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة. حيث يمكننا أن نُثبّت عنصرين من المكونات ثم نحاول تصميم الثالث. على سبيل المثال، إذا كان مُعطى الكائن و مُعطى مجموعة السلوكيات المطلوبة، فكيف نستطيع بناء البيئة بحيث يمكن لهذا الكائن أن يؤدي المهام المطلوبة؟ لاحظ أن هذه النظرة غير واقعية لتطبيقها في التصميم، ولكنها هي المستخدمة في حاسبات كل مكان. فمثلا، حتى نُحسِّن من مستوى الأمان في السيارة، يمكن أن تُجهز السيارات والطرق بتقانة لدعم السائق.





الشكل 8.1

أمثلة تقنية حاسبات كل مكان. (أ) يمكن لبسها. (ب) الترددات اللاسلكية لعرض معلومات مفصلة عن مشروبات روحية (RFID) لتحديد العلامات (يشمل تاريخه، و موقعه الجغرافي، و طريقة صناعته، و الغذاء الذي يتناسب معه).

ففي هذه الحالة يكون الكائن هو السائق (معطى)، وتكون المهمة هي القيادة بأمان (مُعطى أيضاً)، أما البيئة فتتكون من السيارة، والطرق، والإشارات المرورية، وهي ماستكون في هذه الحالة موضوع التصميم. وهذه هي فكرة التنصيب التي واجهتنا لعدد من المرات سابقاً. حيث تتم هيكلة البيئة من خلال ابتكار آلات ذات نماذج فنية صناعية من جميع الأنواع: مستقلة وذاتية التحكم وغير مستقلة وغير ذاتية التحكم، وإستخدامها يقتصر

على محيطنا المتواجدين فيه، ومن خلال ذلك فإننا نستطيع زيادة قدراتنا. وضعنا إشارات توجيهية عبر البيئة، بحيث تساعدنا هذه الإشارات على إيجاد طريقنا عند القيادة دون الحاجة إلى معرفة أي شيء عن الجغرافيا — أي بعبارة أخرى، نستطيع إفراغ المهام الإدراكية إلى البيئة. افترض أنه لسبب ما حدث أنك كنت في سويسرا وتريد أن تقود من زيورخ — معقل اقتصاد البلد — إلى بيرن (Berne) — العاصمة. إن كل ما تحتاج فعله هو إتباع لوحات الإشارات التي كتب عليها اسم " بيرن" وبهذا ستصل إلى هناك في النهاية، خصوصاً في دولة مثل سويسرا حيث تُطبق مثل هذه الأنظمة بكفاءة على مستوى من الكمال؛ وبالتأكيد فالمطلوب من السائق عدم معرفة أي معلومة جغرافية. يضع هذا المنظور المستخدم في منصة مركزية ويهدف إلى زيادة إمكانيات نظام آليات المستخدم أو بيئته من خلال تزويدهم بنوع التقانة المطلوبة لتحقيق الهدف.

وبالطبع، فإن طريقة التفكير هذه كانت موجودة منذ بدايات الحضارة، وكانت الدافع وراء تطوير كل أنواع اللآلات الروبوتية. أحد أعظم الاختلافات بين هذه النظرة المعيارية لزيادة إمكانية البشر من خلال توفير أجسام منتظمة (مثل المقالي، والمطارق، والعجلات، والإشارات)

داخل البيئة، وبين حاسبات كل مكان هو أننا قد انتقلنا الآن مع قوة المعالج الدقيق (بالإضافة إلى تقنيات الإستتشعار والمشغلات الحديثة)، وقد ارتفعت إمكانيات تصميم الآلآت المفيدة، بصورة أدخلت تصميم الآلات في أبعاد جديدة تماماً. وهناك اختلاف آخر مهم– وهذه هي الفكرة الأساسية لسكامورا – وهو أنك لا تستطيع تكوين شبكة من المقالي والمطارق، ولكن بإمكانك تكوين شبكة من أدوات الاتصالات. وسوف ندرس فكرة قوة ربط الشبكات باختصار في الفقرة التالية.

في القسم التالي سنركز على حاسبات كل مكان: كيف نصمم ونستخدم التقانة خارجاً في البيئة لتمكين المستخدم بصورة أفضل.

تقانة حاسبات كل مكان: خصائص ومبادئ 8.2

كما ذكرنا قبل قليل، إن الأجسام السلبية —— هي الأجسام التي لا يمكنها أن تحس أو أن يكون لها فعل ذاتي– يمكنها أن تدعم و تساعد المستخدم لإنجاز مهامه، وهذه فكرة التنصيب البيئي. و في هذا الفصل سوف نبحث في ما يمكن أن يحدث في النماذج الفنية الصناعية التي تتزايد فيها خصائص الكائن. وكما تمت الإشارة في بداية الكتاب، فإن الذكاء ليس خاصية إما أن تكون موجودة أو غائبة، وكذلك الحال بالنسبة لخصائص

الكائن. إذا يمكن للجسم أن يكون بحد أدنى أو أعلى مثل الكائن المتكامل، اعتماداً على مدى وجود تلك الخصائص التي ناقشناها في الفصل الرابع. أولا، دعونا نلق النظر على الأجسام التي يمكنها أن تحس فقط ولكن ليس لها فعل ذاتي. لقد كانت هذه في الحقيقة إحدى الأفكار الأصلية لحاسبات كل مكان. كخطوة أولى، وُضعت الإستتشعارات في كل مكان؛ داخل الغرف (في الغالب كاميرات وكشافات حركة لمراقبة الحالة العامة)، وفي الطوابق (مثلاً استتشعارات ضغط لتحديد موقع الأفراد)، وأجسام مثل السيارات (للقيادة الأوتوماتيكية)، و كراسي (لمعرفة ما إذا كانوا محجوزين اوغير مستخدمين)، وأسرة (لمراقبة ما إذا كان الشخص مستيقظا أو نائما أو لم يعد يتحرك)، و أيضاً أكواب (لتحديد مستوى ودرجة حرارة المحتوى)، وخلويات (لتحديد كيف تُستَعمل)، و ملابس (لقياس البيانات الفسيولوجية مثل معدل نبض القلب وضغط الدم ومقاومة الجلد)، وهكذا. لايزال دمج البيئات والأجسام مع كل أنواع الاستتشعارات أحد مجالات البحث المهمة في هذا المجال. ومع ذلك، فالأجسام التي تحس فقط، بالرغم من فائدتها العالية، لها حدود. على سبيل المثال، إذا كانت هناك حالة خطيرة، فالشيء الوحيد الذي يمكن لتلك التقانة فعله هو أن تحس و لكن ما لا

يمكنها فعله هو أن تحذر الكائن البشري الذي يعمل من الخطر[30]؛ فهي لا تستطيع القيام بأي عمل ذاتياً. باستعمال المصطلح الذي عرفناه سابقاً، حيث تملك هذه التقانة خصائص محدودة فقط للكائن.

ولكن حاسبات كل مكان لم تأخذ في الإعتبار فقط النماذج الفنية الصناعية التي تحس، ولكن أيضاً تلك التي تعمل ذاتياً. مثل بعض الصناعات التى تم تطويرها في المباني كتلك التي تعدل الستائر أوتوماتيكياً عند توفر درجة حرارة و ظروف إضاءة معينة، والسيارات التي تعمل كابحاتها أوتوماتيكيا إذا كانت قربت جدا المسافة بينها وبين السيارة التي أمامها، أو الكاميرات التي تعدل توجيه عدستها وحدود الصورة مع زمن اللقطة أوتوماتيكياً بناءً على بُعْد مسافة الأجسام في مركز مجال إبصار الكاميرا. وما اكَّدنا عليه في كافة أنحاء هذا الكتاب أن أحد الاكتشافات الأساسية في علم الذكاء الاصطناعي هو ضرورة الاقتران الشديد (close coupling) بين الأنظمة الحركية والحسية وهو موضوع جوهري (انظر الفصل الخامس). في تطبيقات حاسبات كل مكان وقد بدأت هذه الرؤية تشق طريقها ببطء في المجتمعات ولكنها لم تُعرف بشكل واسع بعد.

دعونا نبحث في أغوار هذه الفكرة. إن تدعيم تقانة حاسبات كل مكان باستشعارات و/ أو مشغلات يُظهِر الكثير من الإحتمالات المثيرة. فعلى سبيل المثال، بدلا من التركيز فقط على الوظائف المعيارية المعروفة في الذكاء الاصطناعي مثل الإحساس باللمس والإبصار والسمع و وقنوات التحكم (لحفظ توازن الشخص)، والشعور الذاتي، نستطيع نحن كمهندسين – من خلال بحثنا في فكرة " الحياة كما يمكن أن تكون: "life as it could be" التفكير بإنتاج أنواع جديدة من الاستشعارات غير تلك —— الموجودة في الكائن الحي: مثل استشعارات الأشعة تحت الحمراء، واستشعارات لإشارات الراديو، واستشعارات الليزر للمسافات، واستشعارات نظم المعلومات الجغرافية، واستشعارات إشارة الهاتف وغيره. وعلى الرغم، من أن الهاتف لا يتطلب بصورة ضرورية حاسة الإبصار، إلا أن الهواتف أصبحت تزود بكاميرات فأمكن استخدامها أيضاً كوحدات إدخال: لإرسال صورة المتكلم. تتكون المشغلات في الهاتف بشكل واضح من سماعة تضع بشكل فيزيائي أو ملموس موجات ضغط داخل البيئة، وهزاز – لوضع الاهتزاز الصامت – و مولد ضوضاء لنغمة الرنين ومفتاح ضغط للنغمات. لن تكون الأرجل و العجلات ضرورية أيضاً بصورة كبيرة – بالرغم من أننا نستطيع

أن نتخيل هاتف يمشي، ولكن السؤال يكمن في مدى منفعته. أيضاً التحريك سوف لن يكون ضرورياً، بما أن الهواتف بصفة عامة، غير متوقع أن تكون لديها قدرة على إمساك الأكواب و الأجسام الأخرى. وهكذا فإنه طبيعيً أن تكون الهواتف عالة على البشر في تنقلاتها وليست بحاجة إلى نظام تحريك خاص بها، بعبارة أخرى، فالهواتف تدع نفسها تُحمل وتُنْقل هنا و هناك. تذكيرا بخاصية الإستجابة والتنوع، نحن نعرف أن الإستجابة تؤدي إلى استغلال البيئة المحيطة المخصصة؛ والهواتف الخلوية تعمل جيداً في هذا المجال. كما نعرف أيضاً أنه ليس من الضروري لكي تُستغل البيئة المحيطة المخصصة فإن الكائن لا يعلم أنه يفعل ذلك: وبالرغم أنه من غير البديهي أن نفكر بهذه الطريقة، إلا أن الهواتف الخلوية مثال جيد على ذلك حيث تستغل الخلويات مستخدميها الذين ينقلونها من مكان لآخر معهم! أمثلة أخرى على أجسام لديها إمكانيات حسية و حركية تتضمن أنظمة حقن الوقود في محركات السيارة، حيث أن بها استشعارات لاكتشاف تركيز الوقود، ودرجة الحرارة، و "accelerator :وموقع المُسرِّع "دواسة البنزين استناداً لهذه القياسات، يُحقن مزيج الوقود و الهواء وهو الجزء المشغل. الغسالات الآلية لديها استشعارات

لاكتشاف مدى اتساخ الملابس، و نوع النسيج، و الوزن، فتنتج حرارة لتدفئة الماء بمقدار معين، ولإضافة كمية المادة المنظفة، ونوع التحرك الفيزيائي– اهتزاز ثقيل أو دوران خفيف – المطلوب للغسيل. هذه الأنواع من الأنظمة، بقدراتها الحسية والحركية، يمكن اعتبارها (أنظمة مُتَضَمَّنة: embedded systems). و هي أيضا في كل مكان، وحجم الأسواق لهذه المنتجات قُدِّر أكبر بكثير من، على سبيل المثال، أسواق الحاسبات الشخصية كما ذكرنا آنفاً. يخطو علم حاسبات كل مكان خطوة مهمة أبعد من وضع المعالجات الدقيقة مُتَضَمَّنة في أنظمة الاستشعار والمشغلات داخل الأجهزة المنزلية، والمستهلك الإلكتروني، والسيارات، حيث توضع بداخل جميع الأشياء التى تحيطنا – الغرف، والجدران، و الطوابق، و النوافذ، و الأثاث، و الملابس، و الأحذية، و الأجسام مثل الأكواب، والأقلام، والألعاب، والصحون، والكتب والمجلات – وأي شيء يمكن أن يخطر بمخيلتنا.

ما يهمنا الآن هو تقانة حاسبات كل مكان وطرق تضمينها بخصائص الكائن ـــ أو بعبارة أخرى، تقانة (النماذج الفنية الصناعية التي بإمكانها أن تستشعر و تشتغل في البيئة ـــ إن التقانة التي نتأملها سوف تُضمَّن بخصائص الكائن التي ناقشناها في الفصل الرابع. علاوة

على ذلك، بإمكاننا أن نطبق مبادئ الكائن على هذه التقانة. وسوف نستكشف هذه الأفكار في الفقرات التالية.

الخصائص

تذكيراً لما جاء في الفصل الرابع بأن الحقيقة المجردة في الأنظمة المجسدة طبيعياً تقتضي أن تخضع الكائنات لقوانين الفيزياء (تسقط، و تتطلب عملياتها و حركاتها طاقة)؛ وهي من خلال الحركة، أو عموماً من خلال التفاعل مع العالم الحقيقي، تولِّد محفزات استشعارية؛ وتؤثر هذه الأنظمة المجسدة من خلال سلوكها على البيئة؛ وذلك لأنها أنظمة ديناميكية معقدة سوف تملك حالات جذب؛ وسوف تؤدي عمليات حاسوبية للتغيرات البنيوية. يتطلب التحرك طاقة و كذلك الإستشعار، وإن كان بدرجة أقل. خلافاً للروبوتات المتحركة، فإن وحدات حاسبات كل مكان — يمكن لبسها، والأكواب، و (المساعدات الرقمية الشخصية: personal digital assistants) المعروفة بإسم (بي دي آيز: PDAs)، والغرف الذكية، و(الألواح الذكية: smartboards)، والهواتف الخلوية، وغيره — لا تتحرك ذاتياً، و لكن الكثير منها يتحرك معتمدا على وحدات أوعلى أجهزة أخرى (مثلاً، تتحرك أنظمة محركات البحث محمولة بداخل السيارات)، أو على البشر (مثلاً، تتحرك الهواتف

الخلوية و المساعدات الرقمية الشخصية، و الأحذية أو القمصان الذكية كونها محمولة أوملبوسة من قبل البشر).
و كما شاهدنا، فهذه طريقة ذكية حيث تستغل مثل هذه التقانة، البيئة لـ " أهدافها " الخاصة. استخدمنا علامات التنصيص هنا لأن الوحدات او الأجهزة نفسها لا تعرف أنها على ظهر وكتف كائنات اخرى: حيث أن الهدف بشكل تام يتكون في أعين المصممين والمستَخْدِمِين. ولأنه يتم تحريكهم من قِبَل المستخدمين فإن الوحدات ستولِّد محفزاً استشعارياً – اعتماداً – بالطبع – على نوع الاستشعارات التي تملكها. الكاميرا الملبوسة والمحمولة على الرأس سوف تسجل صوراً متحركة (تقانة وسائط متعددة) حيثما يذهب أو ينظر الشخص الذي يحملها؛ استشعارات التسارع المتضمنة في الأحذية ستصدر بيانات مختلفة اعتماداً على ما إذا كان الشخص يمشي أو يجري أو يجلس على الكرسي أو يركب السيارة؛ كما يستقبل نظام محركات بحث السيارة إشارات متعلقة بالمكان الذي يُقاد إليه؛ و كذلك الهواتف الخلوية تستقبل إشارات من أقوى شبكة، وربما من القمر الصناعي الخاص بنظم مواقع المعلومات الجغرافية بناء على المكان الذي يأخذه إليه المالك.

وهناك ميزة أخرى للكائنات المكتملة، كما أشرنا في الفصل الرابع، وهي أنها أنظمة ديناميكية معقدة، لها حالات جذب: الغسالات لها إيقاعاتها المعينة حسب برامجها الخاصة و ظروف التعبئة بتحميلها، كما يستطيع الشخص اعتبارالهاتف الخلوي الذي يرن وكأنه موجود في حالة جذب معينة. سيكون من المثير أيضا انبثاق حالات جذب جديدة كصفة (لنظام مشترك لنماذج فنية صناعية بشرية: joint artifact - human system). فمن خلال تفاعل البشر مع النماذج الفنية الصناعية الروبوتية سيزداد عدد حالات الجذب في (النظام المشترك للنماذج الفنية الصناعية البشرية)، والانتقال بينها لأن الإنسان اليوم لديه إمكانيات أكبر و أكثر في الحركة. على سبيل المثال، يسمح الهاتف الخلوي للرجل أو للمرأة بطلب الأرقام و التحدث والاستماع (الاقتران الحسي الحركي: sensory - motor coupling)، و والتسلي بألعاب الحاسب، و جميع الأنشطة التي يمكن اعتبارها حالات جذب و التنقلات بينها. مرة أخرى، كان هذا مثالاً يوضح كيف يمكن لتقانة حاسبات كل مكان أن تكون تنصيباً لبيئة المستخدم.

الخاصية الأخيرة للكائنات المتكاملة أنـها تؤدي عمليات حاسوبية في التغيرات البنيوية. بعد معاينة أنواع الأفكار التي يتأملها الباحثون، لم نر كثيراً يعكس أي شيء مثل عمليات حاسوبية في التغيرات البنيوية متضمنة في الأجهزة. باستثناء كاميرات الفيديو التي توجد بها خلايا حساسة للإضاءة وعادة تكون أكثر كثافة في مركز مجال الابصار، وهو تعريف له ميزة أساسية من حيث تخفيض كمية البيانات بشكل كبير ويحد من الخسارة الوظيفية فتصل الى لا شيء أو قليل جداً فقط. وسبب ذلك أنه عندما نتجه نحو المحيط – حيث يكون استشعار الحركة مهماً – يصبح (عدد نقاط وضوحية الشاشة pixels:) المطلوب أقل بشكل ملحوظ. و قبل الانتقال لموضوع آخر، من الجدير بالذكر أن نشير إلى أن خصائص الكائنات المكتملة ستصبح واضحة بصورة كبيرة جداً في هذه التقانة في المستقبل، عندما تُزاد قدراتها الحسية و التشغيلية. دعونا الآن ننتقل إلى مبادئ تقانة حاسبات كل مكان الممثلة بالكائن.

مبادئ التصميم

هناك عدد من الأسباب جعلتنا نشعر بأن حاسبات كل مكان تمثل مجال تطبيق جيد لمبادئ تصميمنا. أولاً، أنظمة حاسبات كل مكان من حيث التعريف مجسدة، ولذا،

فإن المبادىء تنطبق إلى حد ما على الأقل. ثانياً، يمكن اعتبار هذه الأنظمة كامتدادات أو أنواع مختلفة للروبوتات الفيزيائية الحقيقية، وهذا يوضح لماذا نحب تسميتها بالأجهزة الروبوتية: فلديها قدرات حسية وحركية (محدودة على الأقل)، ولهذا فهي تمتلك خواص كائن محددة. ثالثاً، بالرغم من أنها ربما تكون من منظور هندسي أقل ملائمة، إلا أن هناك الكثير يمكن التحدث عنه من ناحية ذكاء هذه الأجهزة، وهذا يدعو إلى توضيح المفاهيم الأساسية. فتسمية الأجهزة المتضمنة "ذكية" قد لا يكون مضللاً فقط، ولكنه قد يخلق أيضاً مخاوفاً غير ضرورية لهذا النوع من التقانة، و قد يؤدي ذلك تباعاً إلى مقاومة مما يُعيق تطورها. وأخيراً، نشعر أنه بتوسيع نطاق تفكيرنا الخاص، بالذهاب إلى ما وراء منظور الأنظمة الذكية المجسدة– أي، باعتبارها أكثر من مجرد حيوانات و روبوتات – قد نكتسب رؤى جديدة عن الحياة، أو الذكاء كما يمكن أن يكون. أيضاً، كما سنناقش في الفصل الأخير، قد نكون قادرين على تطوير منظورات جديدة عن الكيفية التي ندرك بها أنفسنا والعالم من حولنا.

لقد تكلمنا عن مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة عندما أوجزنا أنواع قضايا التصميم في حاسبات كل مكان،

وسنطبق الآن بعض من مبادئ التصميم على تقانة حاسبات كل مكان.

مبدأ التناسق الحسي الحركي **لاحظ أن الاقتران الحسي الحركي محدود جداً في أجهزة تقانة حاسبات كل مكان لأن احتمالية خاصية التشغيل – من حيث التأثيرعلى العالم ذاتيا– محدودة جداً. ولقد رأينا أيضاً أن التصنيف و الإدراك و مفهوم التطوير جميعها جوهرية لتفاعل الكائن مع العالم الحقيقي وتتطلب تناسق حسي - حركي. إذا كان الوضع بالفعل هو أن الادراك العالي المستوى ينتج من عملية تطويرية معتمدة على التناسق الحسي الحركي، كما ناقشنا في الفصل الخامس، عندها سوف يكون من الصعب تحقيق مستويات أعلى للذكاء في مثل هذه الأجهزة. رأينا أيضاً في الفصل الرابع و الخامس أن التناسق الحسي الحركي يمكن أن يقلل الطلب على العمليات الحاسوبية التي يقوم بها الكائن، مما يؤدي إلى أنظمة اكثر توازناً وقادرة على الاستجابة للبيئة في الزمن الحقيقي. إذا لم يكن هناك تناسق حسي - حركي في تقانة حاسبات كل مكان، فمن الممكن أن نتوقع زيادة الصعوبات، لأننا سنكون أمام بيانات غير مهيكلة ولابد أن نعتمد أكثر على العمليات الحاسوبية الداخلية. على سبيل المثال، إذا كان الهدف هو تمييز الوجوه لتحديد ما إذا**

كان الشخص مسموح له بأن يستخدم الهاتف الخلوي أم لا، يجب أن تُعطى التعليمات بواسطة الجهاز بحيث تسهل المهمة، كأن يمسك الهاتف أمام وجه الشخص في ظروف إضاءة جيدة – وألا يسمح بتربية اللحية مثلا![31].

ومع ذلك، يمكن تخيل التطبيقات المهمة التي تشمل الفيديو. إذا رأيت فيلماً تم التقاطه من كاميرا ملبوسة، فإنك ستعرف أنه تقريباً في الغالب يستحيل أن تشاهده بدون الشعور بالتشويش، لأن الصور ليست مثبتة باي طريقة فعالة. بالإمكان تخيل آلية لتثبيت الصور مستوحاة من (في أو أر :VOR) ، (الانعكاس البصري الدهليزي: vestibular - ocular reflex)، وهو عبارة عن انعكاس حركة العين والتي وظيفتها تثبيت الصور البصرية على شبكية العين أثناء تحركات الرأس السريعة، وذلك من خلال حركة العين في الاتجاه المعاكس لحركة الرأس. ومن البديهي أن يتطلب هذا تناسق حسي - حركي. و ان أنظمة (إلغاء حركة الاهتزاز :- jitter - cancellation systems) الموجودة في كاميرات الفيديو الرقمية الحديثة يمكنها أن تتعامل فقط وبصورة نسبية مع الاضطرابات الصغيرة، بينما لا يمكنها إلغاء حركة الجري، على سبيل المثال، كما في البشر والحيوانات. ومع ذلك، بدأ الباحثون التحري في هذه

2005م (Koppel et al، المسألة. قدَّم (كوبل، الخوارزمية التي تستخدم تدفق الفيديو للاستدلال على حركة الكاميرا و التعويض بما يتعلق بالحركة. بالرغم من أن الطريقة تبدو واعدة، إلا أن الخوارزمية لم تستخدم بعد المعلومات الأخرى، مثل التسارع، للاستدلال على حركة الكاميرا.

عموماً، ولأن الهدف هو ليس تحقيق أنظمة ذكية ذاتية و لكن بالأحرى (أنظمة تكافلية :symbiotic systems)، فإن فقدان الاقتران الحسي الحركي قد لا يكون مشكلة؛ وببساطة يجب أن نكون واعين له. ولكن يمكن لمبدأ التناسق الحسي - الحركي أن يدلنا على كيفية زيادة فعالية ذكاء (نظام الآلة – البشري :human - machine system). من المعقول أن الاقتران الحسي الحركي لا يجب أن يكون منجزاً بشكل ذاتي، و لكن مرة أخرى نكرر أن كائنات حاسبات كل مكان يمكنها استغلال حقيقية انها معتمدة على البشر. بحثت مجموعة يوشي تاكيباياشي (Yoichi Takebayashi) في جامعة شيزوكا (Shizuoka University) في اليابان في كيفية استغلال المعلومات التي التقطت من استشعارات التسارع (acceleration sensors) أثناء تدريب الكاراتيه في أغراض تعليمية (تاكاهاتا

ربط .(Takahata et al ،وآخرون، 2004 م
و تلامذته في تجاربهم (Takebayashi) تاكيباياشي
استشعارات التسارع بطلاب الكاراتيه الجدد، وعلقوا
الاستشعارات فوق مكبرات الصوت، و بذلك يستطيع
الطلاب سماع تسارع حركاتهم بدقة أثناء التدريب. بعد
عشرة أشهر، وجد أن هذه العملية تعزز التعليم بالإضافة
إلى متعة الرياضة فعلا، بناء على آراء الطلبة
المستجدين. أثبتت الدراسة الأولى إمكانية دمج الأفكار
بين التجسيد و الأجهزة المتضمنة لتعزيز قدرة الإنسان.
فكِّر، على سبيل المثال، في امكانية الجراحة الترقيعية
اليدوية التي يتم التحكم فيها بواسطة جهاز إشارات
(EMG: تصوير العضلة القلبية الالكتروني (إي إم جي
والتي أُخذت من ذراع أبتر، مثل الفكرة التي طورت من
قبل بروفسور جامعة طوكيو هيروشي يوكوي (Yokoi
Hiroshi). زودت الحركة الحقيقية لليد بتجاوب بصري
و لمسي عندما يلتقط المستخدم القنينة، ويمكن أن يُستغل
هذا التجاوب من قبل الفرد لتوليد إشارات تحكم إي إم جي
أخرى — أفضل — بالنسبة لليد. بالإضافة لذلك، تمثل "
Yokoi hand ": يد يوكوي عمليات حاسوبية بنيوية
(أنظر الشكل8.2). و بسبب بنية اليد، المكونة من الأوتار
المطاطية و المواد القابلة للتشوه، تكفي إشارات الـ إي إم

جي ذات الشحنات الخشنة جداً لكي تسمح لليد بالإمساك بالأجسام المتوسطة الحجم وذلك لأي شكل افتراضي (يوكوي وآخرون، Yokoi et al). إذا حتى 2003 م لو أن النموذج الفني الصناعي ذاته – اليد الترقيعية – لا يمتلك إمكانية الاقتران الحسي الحركي المتطور، فإن النظام المشترك لليد الترقيعية البشرية يمتلك ذلك.

إن الحصول على معلومات من القياسات الفسيولوجية لتمكين الناس من بذل تحكم إضافي في وظائف الجسم اللاواعية بصورة طبيعية – لتعديل ضغط الدم مثلاً، أو لمنع صداع الشقيقة أو نوبات الصرع – قد بدأ في الستينيات بهدف العلاج وقد لاقى نجاحاً كبيراً (هتش وريلاي، Hatch and Riley,). 1985م



الشكل 8.2

سايبورغ (الحيوروبوتية): يد يوكوي الاصطناعية. اليد – طورت من قبل هيروشي يوكوي (Yokoi Hiroshi) و أليخاندرو

ويتم التحكم بها عن طريق – (Alejandro Hernandez)هيرنانذز
من الذراع. (EMG :إشارات الـ (إي إم جي

وبتطوير النماذج الفنية الصناعية التي يمكن لبسها وبقدراتها الاستشعارية والمعالجة المحسنة، مثل توفيرالمعلومات الحيوية بصورة مستمرة ودائمة بدلاً من انحصار العلاج على جلسات في مكتب الطبيب أو في المنزل. إن المراقبة المتواصلة لعمليات الجسد هي نقطة هامة جدا لإدارة الحالات المرضية مثل داء السكري، حالات القلب المتنوعة و ضغط الدم المرتفع.كما ان توفر القياسات المستمرة وتقييمات فورية في أي مكان و في أي وقت سيزيد من التحكم الذاتي وبالتالي تحسين نوعية الحياة المحتملة للملاين من البشر. هذا النوع من التقانة سيكون بالتأكيد نعمة لكبار السن ولأولئك المصابون بالأمراض المزمنة. و مع ذلك، نحن لا نريد أن ننتج مجتمعاً مريضاً بالوسواس يحتاج فيه الناس باستمرار إلى مراقبة جميع وظائفهم الفسيولوجية، إذا من الواجب أن نأخذ في الإعتبار ونستجيب للتغيرات الاجتماعية و التي قد تُظهر تغيراً مع الأجهزة المتضمنة، الدقيقة و الرخيصة والتى ستصبح أكثر سيادة – مثل حاسبات كل مكان– و أكثر ديمومة في مجتمعنا.

مبدأ التكرار التبادلي

دعونا نقول بأننا نريد أن نقيس و نسجل بيانات عن الوظائف الحيوية لأناس يعيشون في دار العجزة. بإمكاننا أن نتخيل قميص لقياس معدل النبض، أو ربما لقياس مستويات السكر في الدم بالنسبة لمرضى السكري. و وفقاً لمبدأ التكرار التبادلي، فإنه من المهم امتلاك أنظمة فيزيائية مختلفة توفر وظائف متداخلة جزئياً. إذاً بالإضافة إلى قياس معدل النبض، قد نفكر بتركيب نظام كاميرا يحلل الحركة، أو يكتشف ما إذا كانت هناك أي تحركات أثناء الليل. وبهذا فإذا انقطع نظام قياس معدل النبض عن العمل مثلاً؛ لأن الشخص خلع القميص الذي يحتوي على جهاز القياس قبل أن يذهب للنوم، فإنه لا يزال هناك نظام الكاميرا وربما يكون أقل دقة، إلا أنه لازال يُقدم بعض المعلومات عن حالة الشخص بإظهار ما إذا كان هو أو هي لا زالا يتحركان. بإمكاننا أيضاً أن نتصور تضمين استشعارات الضغط في السرير لإعطاء معلومات عن الحركة. هذا توضيح جيد لمبدأ التكرار التبادلي، لأن جميع الاستشعارات تعتمد على عمليات جسدية مختلفة وترسل أنواع مختلفة من الإشارات، و لكن لا يزال هناك تداخل لأن طرق إتصال استشعار واحد يمكن أن يتم التنبؤ به جزئياً من الآخر. إذا سجلت استشعارات الضغط التي في السرير بأنه لا يوجد حركة،

فمن المحتمل بعد ذلك أيضاً أن يعطي نظام الكاميرا إشارة بعدم وجود حركة.

مبدأ التوازن البيئي

في الوقت الحاضر يمكن أن يطبق مبدأ التوازن البيئي فقط في نطاق محدود لتقانة حاسبات كل مكان الحالية، لأنه، كما ذكرنا سابقاً، لم يتم التركيز على المشغلات في هذا المجال حتى الآن. تذكر أن لمبدأ التوازن البيئي جزءان. الأول يتعلق بتعقيدات الاستشعار، وبأنظمة التحكم و الحركة، أما الثاني فيشمل إحتمالات توزيع المهمة بين الشكل البنيوي، والمواد، والتحكم، وبين نظام التفاعل مع البيئة. دعونا ننظر للمثال.

بالرغم من الفائدة العملية التي قد لا تكاد تُصدق للعديد من تطبيقات الأنظمة المتضمنة مثل الغذاء الذكي (أجهزة تُشحن مع الغذاء لتُسجل تواريخ درجة الحرارة و" تواريخ الصدمة: shock histories ")، ومن المحتمل أن الأكثرية من المهندسين الذين يصممون هذه الأنظمة لا يزالون يعتبرون أن مبدأ التوازن البيئي لا ينطبق على مشاكلهم. على سبيل المثال، لا تمتلك كائنات الغذاء الذكي إمكانيات المشغلات، ولا تؤثر اشكالها البنيوية على قدرة إحساسها، ولكن من المحتمل أن هذه الأنظمة ليست بحاجة لهذه الخصائص لإنجاز العمل.

على أي حال، بإمكاننا تصور العديد من الحالات التي تشمل الاهتمام بالشكل البنيوي، أو أفكار عن المشغلات كأن تستطيع زيادة طاقة تقانة حاسبات كل مكان. لنفترض أن هناك غرفة ذكية وزعت فيها الاستشعارات بطريقة معينة على طول الأرض والجدران والسقف. إذا مشى الناس خلال الغرفة، فإن نمط استشعارات الضغط الموجودة في الأرض سوف تشتغل وستعطينا معلومات عن مكان وجود الناس بدون أي عمليات حاسوبية إضافية. لاحظ أن هذا مثال للعمليات الحاسوبية البنيوية: إن الوضع الفيزيائي للاستشعارات في البيئة (جانب من شكل الغرفة) قد استُغل، وخفَّض كمية العمليات الحاسوبية بالنسبة لإحتساب مواقع الناس. تخيل، بالمقابل، أنه يتم استخلاص جميع هذه المعلومات من خلال كاميرا مراقبة وحيدة!

تخيل بالإضافة لذلك أن موقع المعلومات هذا قد يكون سبباً لفتح الأبواب وإغلاقها، و سببا لتغيير الإشارات التوجيهية. هذا التشغيل الذي تم لجزء من الغرفة يتغير حيث يذهب الناس، بمعنى أنه يغير محفزات استشعارات الضغط الموجودة في الأرض. على الرغم من أن هذا الاستغلال لمبدأ التوازن البيئي ليس قوياً بدرجة التدفق البصري في الروبوت أو الحشرة، على سبيل المثال، إلا

أنه يشير للطريق الذي يمكن من خلاله تطبيق هذه المبادئ في المستقبل ضمن تطبيقات تقانة حاسبات كل مكان.

مبدأ لعمليات المتوازية الضعيفة الترابط

ماذا عن العمليات المتوازية الضعيفة الترابط؟ أحد الأفكار الجوهرية الأساسية لتقانة حاسبات كل مكان وفقاً لسكامورا (Sakamura)– والكثيرين في هذا المجال يوافقونه– أنه ستكون هناك كائنات كثيرة جداً: ليس فقط مئات أو آلاف بل ملايين وحتى بلايين. و هذا ليس غير واقعي إذا فكرت ببطاقات الترددات اللاسلكية لتحديد العلامات(RFID) والتي يمكن الآن أن تُوضع افتراضياً في كل مكان: يمكن أن يحمل الغذاء معلومات غذائية و يحذر من الحساسية؛ و يمكن أن يوضع على الزجاجة بطاقات عليها معلومات مفصلة عن المكان المنتج و مدة التخزين المسموح بها قبل شربها، والطعام الذي يتناسب مع المشروب؛ كما يمكن ان تعرض كتب الأطفال رسوماً متحركة، ويمكن أن تُزود عجلات السيارة بمعلومات عن تاريخها وعن ضغط الهواء الملائم والمطلوب، وهكذا. إن أعظم شيء عن بطاقات الترددات اللاسلكية لتحديد العلامات(RFID) هو أنها لا تتطلب قوة كامنة ملكاً لها. زُودت البطاقة بجهاز قراءة يصدر إشارة لا سلكية،

لتشغيل مجموعة دوائر (RFID)تُستغل من قبل رقاقة الـ كهربائية و لتعيد ارسال المعلومات المطلوبة إلى جهاز القراءة. و لكي تعمل هذه الآلية، يجب أن تُزود رقائق الـ بهوائي. ومن الممكن أن تُصنع بطاقات (RFID) صغيرة جداً: طور سكامورا ومساعده نوبورو (RFID) البروفسور في ،(Noboru Koshizuka) كوشيزوكا بقياس 4,0 ×4,0 (RFID) جامعة طوكيو، رقاقة الـ ملم. إذا وضعت 50 إلى 100 منها داخل قارورة صغيرة، فإنها ستبدو مثل الغبار—— غبارحسابي! تبدو مدهشة من وجهة نظر الإستجابة - (RFID)بطاقات الـ و - التنوع: فهي تستغل البيئة المحيطة المخصصة بطرق ذكية جداً، إفراغ الطاقة الكهربائية في العالم الخارجي، تماما كما تستغل الكائنات المعتمدة على كائنات آخرى لتزويدها بالطاقة أو التحرك. بالمقابل لتقانة الشريط يمكن ،(bar codes) المرمَّز المعروف باسم باركود عن طريق أجهزة قراءة، و (RFID) تحديث بطاقات الـ هكذا تزود، بشكل ما، بالقليل من التنوع السلوكي: في دورتها القادمة، سوف تستجيب بشكل مختلف لجهاز القراءة.

وبالنظر الى الكمية الهائلة من التوازي قد يصبح ممكناً تطبيقها مع هذه التقانات، فمن الواضح أن الكائنات

المفردة، وان كانت طاقتها محدودة، مثل بطاقات الـ (RFID)، لأنه من غير الممكن ترابطها بصورة قوية، لاتوجد بها هيكلة يمكن أن تدعم تكلفة اتصالها الذي يحتاج إلى تزامن جميع المكونات ذات العلاقة لإنجاز المهمة. علاوة على ذلك، بمجرد توفر العديد من الكائنات – وإن كانت قوة طاقتهم ضئيلة – تصبح مطالبتهم بالطاقة مشكلة. إن مدى التفاعل مع البيئة الذي استغل من أجل التناسق قليل (ولكنه استغل – مثلاً لتوفير الطاقة). وهذا يعطي إحساس بسيط لرؤية الشبكة بأكملها في كائن واحد مفرد– كما في الحيوان أو الإنسان أو الروبوت – لأن الأخير يتعرف عليه طبيعياً في كيان واحد من خلال التجسيد. في شبكة حاسبات كل مكان، يكون الاقتران أكثر ضعفاً في ترابطه. مثلاً، في حالة بطاقات الـ (RFID)، يتم ُتحقيق الاقتران من خلال أجهزة القراءة والنظام الاجتماعي الذي ضُمنوا فيه. مناقشة مماثلة تنطبق على الهواتف الخلوية، PDAs، وحدات قياس درجات الحرارة، أنظمة التحكم بتدفق الهواء أو الأجسام الذكية الأخرى. من المثير التأمل بنوع الذكاء الذي قد يظهر في النظام المتوازي والتوزيعي بصورة كبيرة، مثل العديد من الناس الذين يحبون أن يتأملوا ذكاء الإنترنت المشابه للعقل. أكبر اختلاف هو أن الكائنات المفردة في

الإنترنت لديها معالجات أقوى و تفتقر لاستشعارات ومشغلات تتفاعل مع العالم الحقيقي. أيضاً، يُعتبر الإنترنت صغير مقارنة بإمكانيات شبكات حاسبات كل مكان، كما في أسلوب سكامورا، و في غضون عشر سنوات، سيكون من الصعب تصديق ذلك. بالطبع، يبدو من المحتمل أن تُدمج الأجهزة المتضمنة مع الإنترنت، لذا كلا نوعي الأنظمة سوف تدعم و تساعد بعضها بعضاً. ولو أخبرنا حدسنا أن لشبكات حاسبات كل مكان مستوى معين من الذكاء، فإنه قد يكون ممكناً توسيع نطاق مجموعة مبادئ التصميم في المستقبل لتكتسب هذه المميزات الخاصة أيضاً.

التفاعل مع تقانة حاسبات كل مكان 8.3

قبل أن ننتقل إلى آخر و أكثر موضوع إثارة في هذا الفصل، الحيوروبوتية، دعونا نتفحص بإيجاز تفاعل البشر مع الأنظمة الذاتية أو شبه الذاتية، و التي هي ميزة معيارية لتقانة حاسبات كل مكان.

التفاعل مع بيئات حاسبات كل مكان

أن النماذج الفنية الصناعية الروبوتية يستحيل ان تكون ذاتية بشكل كامل، حتى وان اطلق عليها " الكائنات الذاتية: autonomous agents"نحن نتفاعل ؛ معها دائماً بطريقة أو بأخرى: لابد أن نعد الثرموستات،

وأن نضع الملابس داخل الغسالة، و أن نجيب على الهاتف، و نجري محادثة على الهاتف، ونطلب رقم مشارك، ولابد من أن نضغط على دواسة البنزين في السيارة ليبدأ ضخ الوقود في النظام[32]، أو لابد من أن نعد بطريقة ما مستوى الصوت لنظام الاستريو، ونخبره بنوع الموسيقى التى سوف يشغلها. قد تجادل، كما قد يفعل الناس في حاسبات كل مكان، بحيث تتمكن الغرفة الذكية من تحديد الموضع المناسب بنفسها لمكان الثرموستات، بناءً على درجة حرارة الخارج، والحالة الجسدية للشخص عندما يدخل الغرفة، ربما العملية التي يجب أن يقوم بها. لو قام الشخص بتمرين جسدي، فإن درجة حرارة جسده قد تبقى أعلى مما قد تكون عليه أثناء استرخائه أو مشاهدته للتلفاز. ولكن لايزال على المصمم تحديد التفاعل بين مستخدم الغرفة و الغرفة ذاتها، على سبيل المثال، آلية الاتصال بالقميص الذي يقيس درجة حرارة الجسم و بنظام الكاميرا الذي سيتم تركيبه في الغرفة والذي سيزود بمعلومات عن المهمة التى سيؤديها الشخص. حتى ولو كانت النماذج الفنية الصناعية التي نتفاعل معها (روبوتاً ذاتي التحكم :autonomous robot)، إلا أنه علينا إخباره – في مستوى معين بقدر من التفاصيل – عن العمل الذي سيفعله. الآن، يُعتبر

التفاعل مع بعض الأجهزة قديم نسبياً، مثلاً، مع الحاسب المحمول حيث لابد من استخدام لوحة المفاتيح و الفأرة، أو مع الهواتف الخلوية حيث لابد من الضغط على الأرقام. و لكن بإمكاننا أن نتصور أشكالاً أكثر تطوراً و أكثر سلاسة للتفاعل. فمع الروبوتات، على سبيل المثال، نفترض امكانية التواصل معها بواسطة البصر، والحركات الجسدية كالإيماءات وتعبير الوجه، وبالطبع، اللغة الطبيعية. ولكننا كمهندسين لدينا العديد من الإمكانيات الإضافية، لذلك بإمكاننا استغلال جميع أنواع الوسائل الأخرى التي لا تُوظف بصورة طبيعية في التفاعل بين الناس (ربما باستثناء موعد الطبيب). فمثلاً، بإمكاننا قياس مقاومة الجسم، ومعدل نبض القلب، وضغط الدم و التسارع وغيره، بمعنى أن جميع هذه القياسات يمكن استخدامها للتحكم بالروبوتات الأخرى و بيئاتنا، بعبارة أخرى، جميعها يمكن أن تكون جزءا من واجهات الاتصال البيئي - البشري.

يمكن أن نضيف نقطة مهمة أخرى، وهي أنه كلما ازداد استغلالنا للبيئة من أجل أهدافنا يزداد اعتمادنا عليها، كما استعرضنا ذلك من خلال مبدأ التصميم الزهيد. بهذا المعنى، سنصبح متشابكين أكثر و أكثر مع التقانة و

مع البيئة من حولنا. ويمكن أن ندفع قَدُماَ بهذا الإقتران القوي لتكون هناك حيوروبوتات.

8.4 الحيوروبوتات:) (Cyborgs

في عام (cyborg) لقد ابتكر مصطلح سايبورغ 1960 م بواسطة دكتور الطب ذو العقل التقني مانفريد في مؤتمر ناسا (Manfred Clynes)كلينز عن اكتشاف الفضاء، واقترح ليس فقط البيئة (NASA) لابد أن تكون مكيفة مع احتياجات الإنسان، ولكن الإنسان نفسه يمكن أن يتغير ليحافظ على بقاءه في الفضاء. لقد صاغ كلينزهذا المصطلح سايبورغ ليدل على "نظم ميكانيكية - بشرية ذاتية التنظيم :man - machine systems self - regulating "، وهي باختصار وتعني علم" cybernetic) :تجمع بين (السايبرنتك ابتكرت .(organism:الضبط " وبين (النظام الحي فكرة السايبرنتك إلى حد ما في السابق، منذ عام 1947 م، بواسطة بروفسور ام آي تي (MIT) نوربيرت أحد أكبر علماء ،(Norbert Wiener)واينر الرياضيات في القرن العشرين. في عدد من المؤتمرات في الأربعينيات، حول التحكم والاتصال بين الحيوان والآلة، نوقشت القواسم المشتركة لهذه العوالم – وعلى وجه الخصوص فكرة (رد الفعل التراكمي :loops

التى عرَّفها (واينر، 1948م –feedback)، Wiener). فالاقتراح أن هناك قواسم مشتركة مهمة إذاً بين الأنظمة الطبيعية والأنظمة الاصطناعية والتي تقع ضمن مجال الذكاء الاصطناعي لم تكن جديدة؛ حيث تعود على الأقل إلى زمن نشر كتاب واينر.

في كتابه (الحيوروبوتات المولَّدة - طبيعياً (Natural - Born Cyborgs: كلارك، 2003 م)، Clark)، أشار فيلسوف الذكاء الاصطناعي آندي كلارك إلى أننا قد أصبحنا حيوروبوتات وأن العملية قد بدأت منذ عهد بعيد، حيث أصبح البشر يعتمدون على النماذج الفنية الصناعية الروبوتية. اليوم، هناك مستويات متنوعة من "الحيوروبوتية cyborgness: ". الأدوات القديمة مثل السكاكين والأعواد والسهام والأقواس والزبادي وغيره، جميعها تشترك في كونها لا تمتلك خصائص الكائن. وهناك أدوات أكثر إثارة لديها مستوى معين من التحكم الذاتي في عملياتها وهي أوتوماتيكية جزئياً، مثل الطواحين التي تطحن أوتوماتيكياً، والساعات التي تعرض الوقت أوتوماتيكياً، أوالمحركات التي تستمر بالدوران دون تدخل بشري. بالرغم من أنه على مر التاريخ الإنساني، استخدمت أدوات للتحكم في البيئة الطبيعية، إلا أن اكثر إمكانيات التنصيب البيئي إثارة

ظهرت مع مرور الزمن. أحد أعظم الأمثلة أهمية هو اختراع آلة الطباعة عام 1436م بواسطة جوهنس جوتنبيرغ (Johannes Gutenberg)، وهو اختراع عزز قدراتنا الإدراكية وسمح لنا بالموازنة وإيصال الأفكار خارجاً نحو البيئة. إن أهمية هذا الاختراع للنظام الإجتماعي وللفن وللعلم وللتقانة في الوقت الحالي يمكن أن يكون مبالغا فيه بشكل كبير. من ناحية أخرى، تفوقت إمكانيات الطباعة والنشر من خلال ظهور الحاسوب الرقمي الحديث، وتزايدت الطرق المحتملة للتفاعل مع البيئة والتي لم يتم التفكير فيها الى الآن: حيث ان ثورة الإنترنت كانت فقط البداية. أما الخطوة الثانية – شبكات حاسبات كل مكان – فهي تحت التصنيع. بشكل واضح يتبنى البشر كل أنواع طرق زيادة وظائفهم الخاصة، وقد وُصِف ذلك بشكل ملائم من أندي كلارك. ووفقاً لفرضية كلارك، فإن البشر لديهم ميلٌ طبيعي لاستقبال ولإستعمال أي نوع من التقانة ضمن روتينهم اليومي، وكذلك لجعل التقانة جزء من أنفسهم، كما سبق ذكره، وبهذا يتولد اعتماداً متبادل قوي بين البشر والتقانة.

لكن عودة إلي مستويات "الحيوروبوتية"، هناك بُعد واحد وهو التحكم الذاتي. الأجسام او الأدوات الموجودة

مثل المقلاة والحذاء أو العجلات لا تهددنا كثيراً. وإذا كانت تعمل الى حد ما بشكل ذاتي التحكم فستكون أكثر اثارة، ولكن ربما أيضاُ سيكون تهديدها أكثر لأننا لا نحب كثيراً أن نعتمد على اللآلات ذاتية التحكم. من جهة أخرى، نستطيع الحصول على قوة دفع من الآلات أكثر بكثير من الأدوات "الميتة". "المكائن الإدراكية: مثل الحواسيب لا تزال "Cognitive machines أكثر نفعاً، ولكن مرة أخرى، هناك مستوى واحد أكثر تهديداً لأن وظائفها تقترب كثيرا لما نعتقد انه عمل خاص بالبشر فقط. البعد الآخر للحيوروبوتية هو إلى أي مدى – حرفياً – تكون هذه التقانة قريبة منا: الأقرب والأكثر حدة في تفاعلاتها المحتملة، وقد تبدو التقانة الأكثر تهديداً والأقوى هي التي يكثر اعتمادنا عليها. نحن نعتمد بشكل كبير على سياراتنا، وهواتفنا الخلوية وحواسيبنا المحمولة– وكلما كان التفاعل المحتمل مع هذه التقانات المختلفة أكثر حدة، كلما زاد اعتمادنا عليها. الهواتف الخلوية والساعات والتقانة الملبوسة، وأي شيء آخر نلبسه بشكل مباشر على أجسامنا أو تلك التي نحملها حرفياً دائماً تكون معنا وقريبة جداً منا، وبالنسبة للبعض تكون أقرب كثيراً مما يلزم للراحة. ولكن مرة أخرى، لأن ما يصلح للبس قريب جداً فهو يوفر إشارات لا تستطيع

التقانة البعيدة كثيراً عنا تقديمها، مثل قياسات التغيرات الفسيولوجية، ونستطيع أن نستجيب لهذه القياسات في الحال. كما يمكننا القيام بخطوة واحدة أبعد وهي أن نضع تحت الجلد ما كان خارجه في وقت سابق. وهذه خطوة لها مؤشرات عديدة نحو الحيوروبوتية "الحقيقية": مثل، أدوات السمع المزروعة والتي تحل مكان جزء من النظام السمعي للإنسان، و تستعمل بنجاح مع المرضى البشر الذين فقدوا القدرة على السمع؛ وكذلك اللحاء أو الشبكية المزروعة حيث يقُصد منهما إعادة مستوى الإبصار لدى البشر. إلى جانب ذلك، زرع القلب والأدوات الأخرى، جميعها نسخ عن تقانة الحيوروبوتية التي استقرت داخل أجسامنا. ولكن للكثير منا يُعتبر هذا النوع من التقانة مُهدِداً.

ولكن الواقع الذي تدور حوله الحيوروبوتية، هو ارتباط مباشر للنسيج العصبي الحيوي مع والتقانة، ـ وبالأخص الرقائق الرقمية. والجراحات الترقيعية هي نسخة واضحة لهذه التقانة. دعونا ننظر إلى أمثلة قليلة لهذه الأنواع من الحيوروبوتية التي تم فيها الوصل المباشر بين الركيزة العصبية مع الأنظمة الرقمية. تذكر سمك شبه الإنقليس المخيف من الفصل الخامس، الجلكي؟ أجرى المهندس والعالم العصبي فرناندو موسى

أحد، (Fernando Mussa - Ivaldi) – إفالدي زعماء: (تقانة الواجه العصبية neural interfacing technology)، تجربة شبه - علمية والتي ربط فيها دماغ الجلكي بالروبوت خيبيرا "Khepera"، وهو الروبوت الدائري 5 سم والذي ،صادفناه عدة مرات سابقة (ريجر وآخرون، 2001 م Reger et al). فقد جعل الرابط الذي يُتوسط الواجهات العصبية، يتجه إلى طريقين: من دماغ الجلكي – أو بدقة أكثر، التشكيل الشبكي للجلكي – الروبوت؛ ومن الروبوت إلى دماغ الجلكي. التشكيل الشبكي هو منطقة في ساق الدماغ تتحكم بعدد من الوظائف مثل مستوى إثارة الحيوان، ردود الأفعال القلبية والانتباه و - خصوصاً كل ماهو متعلق بحركة التجربة. يجمع التشكيل الشبكي الإشارات الحسية من أي مكان تقريباً في الجسم – البصر واللمس والباطن - مع أوامر الحركة، ويستخدم هذه المعلومات ليغير ناتج المحرك للحبل الشوكي (الذي يشترك بقوة في سيطرة المحرك). ويعتبر الجلكي موضوع جيد لتجربة الحيوروبوت بسبب قابلية الصيانة السهلة لمنطقة ساق الدماغ، بمعنى أنه يستطيع بسهولة البقاء لفترة طويلة من الزمن، ولأن هناك عدد كبير من

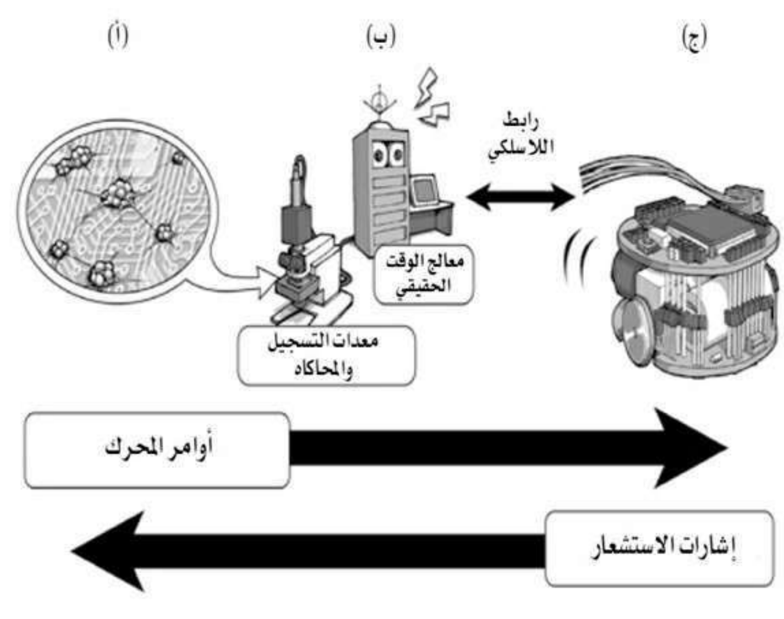
الأعصاب خاصة في هذه المنطقة التى تجعل التسجيل أسهل نسبياً.
وتلامذته (Mussa - Ivaldi) ركز موسى إفالدي على تلك المناطق التي توحد طبيعياً (الإشارات الدهليزية: vestibular signals) مع أوامر الحركة لتثبيت التوجه أثناء السباحة. وقد أدخلوا أربعة أقطاب كهربائية داخل التشكيل الشبكي: اثنان للتسجيل و اثنان للتحفيز. زُود المحفِّز (بمولد تردد النبض :frequency pulse generator) الذي يُحدد تنشيطه من قِبَلْ استشعارات ضوئية يمنى ويسرى موضوعة على الروبوت: كلما ارتفعت قراءة استشعار الضوء الذي على الروبوت، كلما ارتفع المحفِّز الموجود بتلك الأقطاب الكهربائية لدماغ الجلكي. لتحديد إشارة تحكم المحرك للروبوت، فقد أُخذ تسجيل لتلك المراكز في التشكيل الشبكي المماثل لنظام الحركة. وقد حُول هذا التسجيل من خلال الواجهةإلى جهد كهربائي تم تزويده للمحركات الكهربائية للروبوت المعروف بإسم خيبرا. لقد كانت نتائج هذه التجارب مذهلة: بدأ الروبوت يتصرف بصورة مشابهه كثيراً لعربة بريتنبرج (Braitenberg) تُسَيِّرها شبكة عصبية اصطناعية بسيطة: يتحرك نحو محفِّز معين وبعيداً عن الآخرين، وهكذا. ان هيكل هذه

الشبكة العصبية – كما سبق ذكره – يمكن أن يُبدل بوضع أقطاب إلكترونية داخل أجزاء مختلفة من تشكيل الشبكة العصبية، مثلاً يمكن تغييرها من خلال تبديل الاقطاب بين أجزاء مختلفة في التشكيل الشبكي؛ كالانتقال بين اليمين واليسار. اعتماداً على الموضع، يتحرك الروبوت بثقة نحو مصدر الضوء أو بعيداً عنه. علاوة على ذلك، استطاع الباحثون استعراض بعض نماذج التكيف الأولي في الشبكة العصبية (وسوف نترك التفاصيل الخاصة بهذه التجارب هنا). ولأنه معروف ماذا يحدث بالتمام بداخل الروبوت والواجهة، فمن الممكن أن يُستخدم هذا الإعداد لدراسة الدوائر العصبية لدماغ الجلكي، والذي وظيفته معروفة بصورة اقل بكثير. من خلال هذه التجربة الرائدة يمكن رؤية أن الأنظمة الاصطناعية والحيوية تتعاون بصورة سلسة، وبذلك يمكننا استخدام الروبوتات والأنواع الأخرى من النماذج الفنية الصناعية لنتمكن من فهمٍ أفضل لوظيفة الأنظمة العصبية الحيوية.

كان لدى عالم الأعصاب ستيف بوتر (Steve Potter) من مؤسسة جورجيا للتقانة (Georgia Institute of Technology) بالولايات المتحدة الأمريكية، و الرائد في تقانة الحيوروبوتية، فكرة رائدة حقاً. لم يُرد فقط أن يبني حيوروبوت، و لكن، بالإضافة

لذلك، أراد أن يستخدم الحيوروبوتية لإنتاج الفن. علاوة على ذلك، فقد أراد أن يتكَوَّن الفن على الإنترنت. لقد كان هدف بوتر المعلن هو " أساس ابتكار أنواع مختلفة من الذكاء الاصطناعي" (باكُم وآخرون، ص 130، 2004م، Bakum et al).

مقارنة بـ موسى - إفالدي، الذي استخدم أدمغة الحيوانات، فإن بوتر أخذ أعصاباً - عشرات الآف منها – من أدمغة الفئران وزرعها في طبق صغير. سُمي هذا الطبق: multielectrode (بالصف المتعدد الأقطاب array)،



الشكل 8-3

الحيوروبوتية: ربط أدمغة الروبوتات مع الأدمغة البيولوجية. الروبوت المتحكم به عصبياً لستيف بوتر. (أ) رقاقة عصبية مزروعة في الطبق. (ب)

أداة تحفيز وتسجيل، و تشمل معالج في الزمن الحقيقي. (ج) روبوت متحكم به بواسطة دماغ حيوي.

وهو أساساً رقاقة حاسب بها60 قطب كهربائي لترتبط بها الأعصاب نفسها. بعد ذلك كان عليه أن يحدد كيف يربط هذا " الدماغ " العضوي جزئياً و الإلكتروني جزئياً بالروبوت، و ربط الروبوت " بالدماغ " (إعداد التجربة رُسم في الشكل 8. 3). لقد حدد نشاط الـ 60 قطب كهربائي من خلال نشاط الأعصاب التي نمت و اتصلت بها، ولكن الأقطاب الكهربائية يمكن أيضاً أن تُحفَّز، والتي بدورها حفَّزت الأعصاب المتصلة. إن هدف بوتر كان صناعة روبوتً بإمكانه أن يتبع روبوتاً آخر، بمعنى، يجب أن يُبقي مسافة ثابتة بينه وبين هذا الجسم. ربط بوتر وزملائه الروبوت بشبكة عصبية كالتالي. حفَّزوا الشبكة في كلا القطبين المختلفين مع تأخير معين في الوسط، مما يؤدي إلى استجابة كُلِّية محددة للخلايا العصبية. عندما كان التأخير بين التحفيزات كبيراً، فإن استجابة الخلايا العصبية أصبحت عالية. وعندما كانت الاستجابة بحد أدنى للتأخير 150متر في الثانية، و لكن عندما يكون التأخير أقل حتى من ذلك، اصبحت الاستجابة الكلية قصوى.

حدد التأخير قياساً ببعد المسافة بين الروبوت و الجسم، و التي يمكن قياسها تقريباً بواسطة استشعارات

الأشعة تحت الحمراء، كما رأينا من قبل: إذا كان الروبوت بعيداً عن الجسم، فإن التأخير بين الإشارات سيكون كبيرا، ممايؤدي إلى نشاط كلي بمستوى عال. يُترجم هذا النشاط الكلي العالي إلى " تحرك للأمام: ضمن الإشارة المرسلة إلى " move forward" الروبوت. فسواءً تحرك الروبوت يميناً أو يساراً فقد حدد ذلك عن طريق أي القطبين حُفِّز أولاً، والذي حُدد تباعاً سواء استقبل الروبوت التحفيز الحسي الاستشعاري من اليمين أو اليسار. إذا كان بُعد المسافة للجسم فقط من اليمين، و رُبطت المسافة مع تأخير بحوالي 150 متر في الثانية، فإنه سيؤدي إلى نشاط كلي منخفض جداً والذي تم ربطه مع أمر " لا حركة: no movement للروبوت. المسافة القريبة جداً من الجسم و التي " رُبطت مع تأخير قصير، ستؤدي بعد ذلك إلى تحفيز أقصى، و التي تباعاً رُبطت مع إشارة " تحرك للخلف: بالنسبة للروبوت. استخدم بوتر " move back روبوتين، أحدهما يتم التحكم به عن طريق شبكة حيوية، والآخر عن طريق الحاسوب. إن الروبوت المُتحكم به من خلال الشبكة الحيوية العصبية يتبع الروبوت الآخر المتحكم به عن طريق الحاسوب. و بالفعل، فقد أُدير ليفعل ذلك!. مرة أخرى، هذا عرض رائع للتعاون السلس

بين الأنظمة العصبية الحيوية و الروبوتات. كما يوجد إثبات تمهيدي أن هناك تغيرات سلوكية تحدث مع مرور الزمن، والتي يمكن ان تقفي اثرها في اللآليات المرنة للخلايا العصبية. الشيء الجميل بهذا الإعداد بالمقابل لإعداد موسى – إيفالدي هو وجود نشاط في الخلايا العصبية، لأنها في طبق، وبهذا يمكن بسهولة أكثر أن يقاس من خلال السلوك. و أيضاً، بفضل للصف المتعدد الأقطاب، حيث مئات الخلايا العصبية يمكن أن تُسجل في وقت واحد، لعرض طريقة جديدة و فريدة للبحث في وظيفة الدماغ.

ولكن لم يتوقف بوتر هناك: كما ذكرنا آنفاً، فهو لم يربط فقط عصاباً حيوياً بروبوت متنقل، ولكن لأنه أراد أن يبتكر فناً، فقد ربط أيضاً العصاب الحيوي الذي في الطبق بذراع الروبوت بواسطة صف متعدد الأقطاب و ووصل الإنترنت مع ذراع الروبوت. لقد أمسك الذراع قلماً، واعتماداً على أوامر المحرك الواردة يمكن للذراع الرسم على الورق الذي وُضع تحت الذراع. وضع ذراع الروبوت في بيرث بأستراليا، بينما وضع " الدماغ " الذي يتحكم في أتلانتا بجورجيا، والتي تبعد حوالي 000,12 ميل: تم وضع كل من الدماغ و الجسم في مكان مختلف من العالم بعيداً عن الآخر!. لقد كانت هناك

كاميرا فوقية " تراقب " الرسم، التى من خلالها يتم تزويد الستين قطب فى الصف والحسابات المطلوبة. و بالطبع أُبتكر " العمل الفني " بعبارة أخرى، أُنتج بواسطة حركات الذراع، معتمدة بقوة بناء على كيفية تزويد الشبكة بالمعلومات المستقاة من صور الكاميرا و كيفية توليِد الحركات الجديدة. ولا يزال هذا العمل في تقدم،

ولكنه بالتأكيد بحث رائع. أما الرسومات ذاتها فهي ليست ببساطة خربشة عشوائية – كثير من الناس سيكونون سعداء عندما يستطيعون إنتاج مثل هذه الرسومات) بكم واخرون، 2004م، Bakkum et al).

يصادق موسى - إيفالدي و بوتر بالكامل على منظور التجسيد، بعبارة أخرى، الفكرة أنه إذا أردنا حقاً أن نفهم وظيفة (النظام العصبي :neural system)، فمن الواجب أن يكون مجسداً بشكل كُلّي. و لكن بالطبع من المثير أيضاً أن نقارن وظيفة الخلايا العصبية في الحالة المجسدة والحالة غير المجسدة، كما فعلنا عند مناقشة مولدات أنماط الجلكي المركزية و كيف أنها تعمل بصورة مختلفة جداً في الحالة غير المجسدة و الحالة المجسدة. من خلال دراسة الأنظمة العصبية في كلا الحالتين، يمكننا البحث في كيفية تفاعل الأدمغة و الأجساد مع بعضها

البعض لإنتاج سلوك ذكي. و لكن علاوة على الفائدة المفاهيمية لدراسة الأدمغة بهذه الطريقة، إلا أن لتقانة الحيوروبوتية استخدامات عديدة. أحد الأهداف الرئيسية لبحث موسى – إيفالدي و بوتر هو الفهم الأفضل لكيف يمكن ربط الأنظمة الحيوية و الاصطناعية و خصوصاً مع التوجه نحو التطبيقات الطبية، التى يطلق عليها الجراحة الترقيعية، أو (أجهزة الطاقة المساعدة :power - assisting devices) أو (البِدَل الداعمة :support suits) أو أي شيء يمكن أن يجعل حياة الناس المصابين بالضعف العقلي و الجسدي أسهل. سوف نتأمل هذه المشاكل قليلاً في الفصل الحادي عشر أثناء مناقشة الروبوتات في حياتنا اليومية.

8.5 الخلاصة و الخاتمة

في هذا الفصل بحثنا في مجال جديد في علم الحاسبات تُطلق عليه عدة مسميات – الحوسبة في كل مكان، حاسبات كل مكان، أو الحاسبات الخارقة – و تحرينا إلى أي مدى يمكن أن تُطبق مبادىء التصميم في هذا المجال. وحيث يعتبر هذا المجال في حالته الراهنة مزدهر وعالي الإبداعية و لكنه بلا ريب يفتقد إلى الأساس النظري. و لكن إذا تبنينا إلى حد ما الفكر الفوضوي لفييرابند عن كيف يعمل العلم، أو كيف يجب أن يعمل، كما أشرنا في

الفصل الثالث، في ظل غياب القواعد الضمنية فإنه من المحتمل أن يكون هناك الكثير من التقدم، والأفكار الجديدة و التطورات السريعة. و يمكن أن تساعد مبادئ التصميم للأنظمة الذكية على إدارة التشويش المبدع و تنظيم أفكارنا حول ماهي أفضل طريقة لتصميم التقانة المتضمنة. من جهة اخرى، و بسبب هياكل الكائن الجديدة – وهنا من المهم أن نشير إلى شبكات حاسبات كل مكان موجودة كمفهوم وكتطبيق عملي على مدى أكثر بكثير من الأنواع الأخرى للإنترنت – في الواقع قد يكون من الضروري توسيع نطاق مبادئ التصميم لتندمج مع الأنواع الجديدة المحتملة من الذكاءات التي قد تظهر. إن سبب تركيزنا على نقطة اختلاف هذه الأنظمة عن الإنترنت هو كونها مجسدة و تمتلك قدرات حسية - حركية و تستطيع أن تتفاعل ذاتياً – على الأقل جزئياً – مع بيئاتها دون تدخل الانسان. وبالطبع في هذه العجالة من المستحيل إنصاف هذا المجال الخصب. على الرغم من ذلك، فقد حاولنا في هذا الفصل أن نضع مخططاً لمستقبل أجهزة حاسبات كل مكان، ليس فقط من ناحية التطبيق العملي، ولكن أيضاً لتسليط الضوء على طبيعة الذكاء. في الفصل القادم، سوف نطبق البديهيات التي طورناها حتى الان عن الكائنات المتكاملة لحملها الى

مجال اخر مرتبط بالذكاء الاصطناعي بشكل غير مباشر:
الا وهو عالم الشركات الكبيرة.

الفصل التاسع

بناء الشركات الذكية: سايمون جراند و رولف فايفر

ما هو جوهر الإدارة ؟ عندما تقاعد تشيستر برنارد(Chester Barnard) كمدير تنفيذي لشركة بيل (Bell) للهاتف في نيوجرزي، سجل تأملاته عن الإدارة في كتابه وظائف المدير التنفيذي(Functions of the Executive)، الذي طبع لأول مرة في ديسمبر 1938م ثم اعيد نشر تسعة وثلاثين طبعة منه منذ ذلك الحين. يُعرف برنارد اليوم على نحو واسع كأحد الآباء المؤسسين للإدارة العامة كتخصص علمي. جادل تشيستر على أن الإدارة معنية – أو يجب أن تكون معنية – بانشطة الشركة أو المنظمة التي لا يمكن اسنادها لاخرين لأن التعقيد وعدم التأكد متأصلين بها. هذا التعقيد وعدم التأكد وفقاً لبرنارد له أصله في طبيعة توزيع الأنشطة والعمليات في المنظمة. وهذا يتناقض بحدة مع الاعتقاد السائد بأن جوهر الإدارة في الفهم والتحكم بالتصنيع والمبيعات والأنشطة التنظيمية والإدارية، والذي يمكن بسهولة في الواقع أن يُعرَّف بالتحديد وبهذا يمكن أن يتم اسناده بصورة سهلة، بينما الإستراتيجية

والإبداعية، لأنه التعقيد وعدم التأكد متأصل بها كما لا يمكن إسنادها. على الرغم من أن مقولة برنارد تمثل رؤية أساسية في التدريب العملي الإداري، إلا إن معظم المشاركات في علم الإدارة أخفقت في التعامل معها بجدية وركزت بشكل رئيسي على تلك الجوانب التي يمكن أن تُرسم بشكل واضح. توفي برنارد في 1961م، ولكن أفكاره بقيت حية ومعروفه، وخاصة في السنوات الأخيرة حيث أكتسبت شهرة مع ظهور مجموعة بحث الإدارة الإستراتيجية.

استعرضنا في الفصول السابقة أن مبادئ التصميم للأنظمة الذكية، والنظرة العامة لمنهج النظم المجسدة، والتى يمكن أن تُستخدم لابتكار أنظمة اصطناعية – محاكاة حاسوب وروبوتات، والأجهزة المتضمنة – و لتحليل الأنظمة البيولوجية. تذكر خصائص المنافسة لبيئات العالم الحقيقي: اكتساب المعلومات يأخذ وقتاً وهو دائماً غير مستوف وغير دقيق، مما يدل أنه فعلياً غير اكيد وبهذا فهو قابل للتنبؤ فقط في مدى محدود جداً. منذ البداية ذكرنا أن مبادئ التصميم لن تسلط الضوء فقط على الروبوتات والذكاء الاصطناعي والعلوم الإدراكية، ولكن أيضا ستؤثر على الطريقة التي نرى بها أنفسنا والعالم من حولنا. في هذا الفصل نرغب أن نستكشف إلى

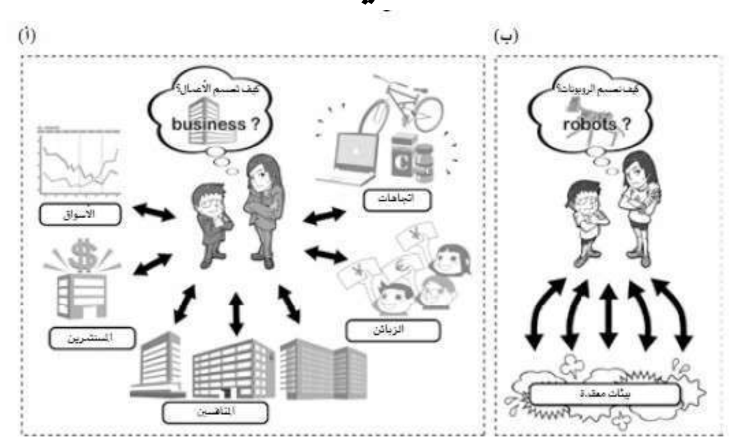
أي مدى نستطيع استغلال هذا المنهج لتعلم شيء جديد ومثيرعن مجال مختلف تماماً، وهو الإدارة والشراكة. وهذا ما سنحاول تسويقه في هذا الفصل.

سنبدأ كالتالي. أولاً سوف نسترجع دراسات الإدراة المنشورة لتفسير أهداف (الشراكة الخلاَّقة:entrepreneurship) والإدارة. ثم سوف نبرهن أنه يمكن رؤية الشركات بمنظور الكائنات المجسدة و يمكن ترجمة مبادئ التصميم للأنظمة الذكية إلى مجال بناء الشركات في البيئات غير المؤكدة. من جهة ما، الإدارة يوجد بينها وبين الهندسة تشابهات مذهلة: ليس كثيراً مع الهندسة التقليدية، ولكن بالأحرى مع (هندسة الأنظمة المتكيفية: of adaptive systems engineering) والتي يجب أن تعمل في البيئات المتغيرة بشكل متسارع (انظر الشكل9.1). بعد ذلك سنراجع المنهج التحليلي، الإستجابة - و - التنوع، والاطار المرجعي، و السلوك غير المبرمج في المجال الإداري. ثم سنتابع مناقشة بعض مبادئ التصميم الرئيسية ونلخص تطبيقاتها لهذا المجال من الدراسة. وسوف نختتم الحديث عن الكيفية التي يمكن بها لهذه المبادئ أن تُدعم في السياق الإداري.

9.1 الإدارة والشركة: القرار والتصرف في حالة عدم التأكد

إن موضوع الاهتمام بالإدارة فيما يتعلق بإتخاذ القرار والسلوك المترتب في ظل الظروف والمعلومات غير المؤكدة ظهر مرة أخرى بشكل رئيسي مع تزايد الاهتمام بالشراكة الخلاَّقة الحقيقية في العقدين الأخيرين. في عام 1911م، نشر العالم الاقتصادي المثير للجدل جوزيف سكمبيتر (Joseph Schumpeter) كتابه الشهير نظرية تطوير الاقتصاد (Development Theory of Economic) حيث قدّم الشراكة الخلاَّقة واعتبرها الدافع الرئيسي في التحليل الإقتصادي والتطوير التقني. و توصل الي النتيجة بأنه لو أستطعنا أن نفهم كيف تُحوَّل المبادرات الإبداعية في الشراكة الخلاَّقة إلى قطاعات أعمال ناجحة – من الأمثلة الشائعة قد يكون تطوير الدواء المعتمد على التقنية الحيوية أو حاسبات كل مكان، و كيف تُدار و الشركات الناجحة مثل جينيتك (Genetech) في محيط الابداع التقني مايكروسوفت (Microsoft) والتنافس المتغير المستمر – فإنه يمكننا أن نبحث في اتخاذ القرار والسلوك الإداري المناسب في ظل المعلومات والظروف غير المؤكدة. بالإضافة لذلك، فقد نتعلم من

بأن هذه (Chester Barnard) تشيستر برنارد العمليات ليست غامضة وانها لابد أن تكون من اختصاص عدد محدود من الاشخاص الموهوبين، ولكن الفهم العلمي بالفعل ممكنً بل و ضروريً.



الشكل 9.1

ا) الشركة التي شُبهت بالكائن المجسد عليها أن تعمل تحت ظروف من المعلومات غيرالمؤكدة بنسبة عالية. وبسبب التشابه بين الوضع الحيوي أو الكائن الروبوتي الذي يؤدي مهامه في البيئية المحيطة المخصصة وبين الشركة التي تؤدي العمل في بيئة اقتصادية، يكون تصوُّرا ممكنا مجازياً (ب) الشركة مثل نظام مجسد ذكي و تطبيق مبادئ التصميم في بناء الشركات الجديدة وقطاع الأعمال.

إذا كان هذا صحيحاً، فإن بيتر دركر (Peter Drucker)، وهو مؤلف للعديد من الكتب الاستشرافية وربما يعد أهم مرجعً في القرن العشرين، فقد كان صائباً في نقاشه بأن الابداعية والشراكة الخلاَّقة يجب أن ينظر اليهما كمهمات يمكن في الحقيقة أن تُنظم وبهذا يمكن دراسة منهجيتها. وبينما تطورت المجالات التقنية

والعلمية مثل الفيزياء والأحياء والهندسة بشكل طبيعيً مع مرور الزمن، الا إن فهم الإدارة والشراكة الخلاَّقة لم يصل إلى مستوى مشابه من الشمولية. أو باستعمال كلمات دركر من كتابه الابداعية والشركة (Innovation and Entrepreneurship)، 1985م، "مثل العلوم المعرفية النافعة،] كالتقنية [، فالإدارة عمرها الزمني كباقي المجالات المعرفية الرئيسية التي تشكل في وقتنا الحالي البنى التحتية في الصناعات التقنية المتقدمة، سواءً كان علم الالكترونيات، اوعلم الفيزياء الجامدة (solid - state physics)، أو علم الوراثة، أو علم المناعة "(صفحة 14). وعلى اي حال، اذا أردنا أن ندعم معرفتنا في العمليات التحتية من ابتكار و تطوير لتكوين الشركات، والأعمال، والإبداعات، فان مجال الإدارة لابد أن تكون محتوياته أكثر من مجرد مناهج فلسفية و قوانين عامة. إذ يجب أن يتضمن مبادئ ملموسة و (اساليب تقنية متماسكة concrete: techniques) تدعم اتخاذ القرار والسلوك المترتب عليه من خلال الاجابة على السؤال المتعلق بكيفة اتخاذ القرار والسلوك المترتب عليه في ظل الظروف غيرالمؤكدة. من هذا المنظور، يمكن رؤية الإدارة كتقانة جديدة بحد ذاتها، أو يمكننا القول، أنها تشكل مجالاً

هندسيا بحاجة الى مبادئ تصميم. لاحظ أننا لا نقصد علم الهندسة بذاتها أو الهندسة التقليدية، التي تركِّز على الدقة، والسرعة، وقابلية التحكم، و(فعالية تقدير - التكلفة: cost - effectiveness) والحلول المثلى. بالأحرى، نحن مهتمين بنوع جديد من الهندسة، النوع الذي ننشده في هذا الكتاب، هو الذي يتعامل مع التكيف، والتعلم، والتحكم الذاتي، بعبارة أخرى النظم التي يجب ان تعمل في ظل الظروف غير المؤكدة. إنه هذا النوع من الهندسة الذي طُوِّر له مبادئ التصميم، وهذه الأنواع بالتحديد من النظم التي نهدف اليها في سياق الشراكة الخلاَّقة.

في ظل هذه الرؤى، نقترح رؤية الإدارة والشراكة الخلاَّقة كمجال علمي و تقني – لإنشاء شركات جديدة وأعمال جديدة يمكن أن توصف على أنها مجموعة من المبادئ الأساسية، الملموسة والثابتة. نحن نؤكد على متطلب وهو أن تكون المبادئ ثابتة، لأن ذلك في الغالب ليست الحال في الأبحاث التي نشرت في مجال علم الإدارة. وفي الواقع، توجد مبالغة طفيفة عندما نقارن، رد فعل السلوك في مجال الادارة الى سلوك من يشرب الكحول الذي يبحثً عن مفاتيحه تحت ضوء المجهر وليس في المكان الذي فقدها فيه: و بدلاً من التطرق إلى

موضوع الظروف غيرالمؤكدة والتى تُكوِّن الإشكال الحقيقي في المجال، فقد تفادى هذا المجال، أو على الاقل الجزء الاكبر منه، الاجابة على الأسئلة الصعبة حقاً وركَّزعلى القضايا السلمية، والمعروفة بشكل أفضل، و القضايا المعرَّفة بوضوح أكثر مثل (اللوجستية أو عمليات و التسويق. من خلال (logistics: الخدمات المساندة منهج الذكاء الاصطناعي والعلم الإدراكي اللذان طورا في هذا الكتاب حتى الآن، سنحاول نقل الأفكار الأساسية والمبادئ الاساسية لتصميم النظم الذكية المجسدة للإدارة، وسنناقش أن الشركات يمكن فعلاَ فهمها كأنظمة ذكية مجسدة. فيما يلي، سنناقش – على الرغم من أننا مازلنا لا نمتلك برهان تجريبي واضح – أن هذا الانتقال ليس فقط ممكناً ولكنه سوف يقودنا الى رؤى مذهلة ونتائج مفاجئة قد لا نصل اليها بطريقة أخرى.

الشركات كأنظمة مجسدة 9.2

إحدى المناطق الأكثر إثارة والتي تتطلب الشراكة الخلاقة الحقيقية والمهارات الادارية هي ابتكار شركات وقطاعات أعمال جديدة. شركات التقانة مثل آي بي إم (IBM) أوسوني (Sony) أوسيمنس (Siemens) أوجينيتك (Genetech) تبتكر باستمرار فرصا تكنولوجية جديدة في مختبراتها (مثل، تقانة الذاكرة

الجديدة وتقانات رقاقة المعالج، والطرق الجديدة للتحكم بتعبير الجينات) والتي يجب أن تُضمَّن داخل المنتجان الجديدة (مثل، وسائل التخزين الرخيصة ذات السعة التخزينية الكبيرة والتى تتطلب طاقة صغرى للتشغيل، الادوية والعلاجات الجديدة)، الحلول البرمجية و قطاعات الأعمال الجديدة (مثل، الجيل الجديد للهواتف الخلوية، والحلول البرمجية المتكاملة للرعاية الصحية)، ووحدات و (ventures: عمل جديدة، و(مشروع شركات براءات اختراع و شراكات. تبتكر مختبرات البحث العلمي في الجامعات و مؤسسات البحث الخاصة فرص جديدة لقطاع الاعمال في التقانة الحيوية، علم الحاسوب، الذكاء الاصطناعي، وتقانة المعلومات بصفة عامة. من المثير ملاحظة أن مصطلح مشروع شركات بحد ذاته يعكس جوهر الظروف غيرالمؤكدة لبداية قطاع العمل الجديد، في المرحلة التى تبقي غير مرئية سواء كانت النتيجة منتجاً، شركة، فرصة استثمار، أو فكرة مجردة غير معروفة أو مشروع غير مُنجز.

وفي حين أن تنظيم عمليات البحث والتطوير في عمليات الصناعة الدوائية ـــأو ما يسمى "بالصيدلة الكبيرة: Big Pharma" وهو مصطلح يستخدمه الإداريون المتخصصون في الصحة ـ أو المتخصصون

في الإدارة التشغيلية للتقانات المنشأة في شركات تقانة المعلومات – منهجيات الهندسة الوراثية، البنى التحتية للهواتف الخلوية، و خدمات الشبكة للحوالات المالية– تم تغطيتها بشكل جيد في ما نشر من أبحاث في مجالي الإدارة والشراكة الخلاقة، كما إن انشاء وتأسيس الشركات والأعمال والأسواق الجديدة، يشمل السؤال عن كيف يمكن أن تُحول الفرص التي وُفِّرت من خلال البحث والتطوير إلى منتجات وخدمات ناجحة، لم يُستكشف بعد.

الظهور الطبيعي للتقانة والأعمال الجديدة

هناك العديد من دراسات الحالة الإيضاحية و الحسابات التاريخية عن صناعات معينة، ومنتجات مثل الدراجات و الحواسيب الضخمة، التي تعرض الظهور الطبيعي والمعقَّد للتقانات وقطاعات الأعمال الجديدة، التي تُظهر في الغالب انماطاً غير متوقعة للتطوير.ازدهرت صناعة الدراجة الحالية، مثلاً، من خلال التفاعل المعقد مع التطورات التقنية (المواد الجديدة، والمكونات، وطرق التصنيع)، واتجاهات التصميم (اختيارات عديدة، و مظهر وتفصيل من خلال "الموديل"، cool": "معتدل: modding")، والتطويرات الاجتماعية (هوايات عالية التقانة، والاستجمام الفعَّال، و اللياقة الجسدية)، والبحث العلمي (الأمان، والسرعة، والرياضات الطبية)، و ربما

التنافس مع ادوات وعربات الرياضة و وسائل النقل الأخرى، فقد كان من غير الممكن توقع كل هذه التطورات. مثال اخر على ذلك: الحواسيب الكبرى والتي ظهرت، قبل عقود ماضية قليلة، بدت وكأنها الطريق الذي من خلاله سوف يتطور الحاسوب. لنتذكر فقط الرؤية التى تطورت في الستينيات في فيلم رحلة فضائية A)) Space Odyssey: the superintelligent لستانلي كبريك (Kubrick's cult Stanley) وهو حاسوب فائق الذكاء كنيته هال 9000 ،2001 في جوهره حاسوب ضخم هائل محمّل (HAL 9000) في سفينة فضائية (اذا تحركت الاحرف في هال موقع واحد فإن الابجدية ستصبح اي بي ام (IBM))، ولكن الحواسيب الضخمة خسرت أهميتها بشكل كبير واستبدلت بشبكات الحاسوب الشخصي القوية، كما نعرف جميعاً، التطور الذي اطاح تقريباً بشركة اي بي ام في بداية الثمانينات، عندما كانت أكبر شركة كمبيوتر عملاقة على كوكب الأرض. ويمكن القول الان انه بعد ارتفاع التوزيع المبدئي لسوق التقانة، فإن هناك عودة، للحواسيب العملاقة – على الأقل مؤقتاً – حيث لها دور متوسط ولا يزال لها دوراً مهماً بين الحاسبات العملاقة في السوق، خادم البنى التحتية، والأنظمة التوزيعية بالكامل.

ومع توفر الظهور الطبيعي لهذه التطورات، يكون صعباَ ان لم يكن مستحيلا للمدراء أو الشركات ان تتوقع ماذا سيحدث اذا تم فعل عمل معين، على سبيل المثال، إذا أسس قطاع عمل جديد أو منتج جديد أوتم تدشين خدمة. من الواضح، أن الشركة الفردية لا تستطيع أن تفرض تطورامعيناً أو تقانة جديدة فى السوق. علاوة على ذلك، انه من غير الممكن ان يحدد (شركة أو شخص) بمفرده تطوير تقانة جديدة: تظهر التقانات الجديدة من التفاعل الديناميكي لشركات التقانة المتنوعة، و مشروع شركات جديدة، والزبائن المحتملين، والمنافسين، والمؤسسات السياسية. على سبيل المثال، وسائل الاتصال المتنقلة لا يمكن اعتبارها "تقانة" فردية؛ بل بالأحرى، هي ظاهرة من بيئة تقنية متغيرة بشكل سريع يوجد بها العديد من المشغِّلين: الشركات، ومنظمات المستهلك، وحتى الولايات والدول؛ توفر الشركات رقائق الحاسوب، ,ومعالجات، وكاميرات رقمية، وخادم البنية التحتية، وتقانة البطارية، وشاشات عرض، وخدمات شبكات، وعقود اتصالات جوالة، وتسديد فواتير أوتوماتيكية؛ توفر منظمات المستهلك قوانين لحماية صحة المستهلكين؛ وتوفر الدول الهياكل القانونية الأساسية لانواع عقود الاتصالات الجوالة الجديدة وهكذا.

وكما تقترح هذه الامثلة، فانه عند تأسيس تقانة جديدة وقطاع أعمال في بيئة اليوم الاقتصادية، فإننا نواجه أوضاعاً غير مؤكدة، غامضة، ديناميكية، و شديدة التعقيد. هي غير مؤكدة من ناحية التطورات المستقبلية ومن ناحية الأنشطة والكفاءات المطلوبة للبقاء: هي غامضة لأن الفرص البديلة لابد أن نتوقع وجودها ولها مبرراتها، وهي ديناميكية نظرا للاستمرارية و العوامل التطورية ولوجود العديد من المشغلين و النماذج الفنية الصناعية؛ وهي معقدة بسبب التركيب غير الخطي للتفاعلات، التي تقتضي أن النتيجة من التفاعلات لا يمكن التنبؤ بها، على الأقل ليس في المدى الطويل. ويجب أن نتذكر بأن الإحساس بالظروف الأولية هي خاصية جوهرية في الأنظمة الديناميكية المعقدة، بمعنى أن طور النظام يعتمد بشكل حاسم على الظروف الأولية، بحيث انه إذا وُجِد هناك انحراف طفيف، فإن النظام يستطيع أن يتطور في اتجاه مختلف بشكل تام.

ولكن في الحالة الأكثر (تعقيداً :perplexing)، فليس التطورات فقط هي ما لا يمكن التنبؤ به، ولكن حتى في وقت لاحق فإن الاسباب والآثارغير واضحة. وفي الغالب هناك جدل كبير فيما يتعلق بما يحدث حقيقة ومن وراء ذلك الحدث. مثال على ذلك المناقشات المليئة

بالصراع التي أحاطت بمقدم الـ يو إم تي إس (UMTS) :نظام الاتصالات عن بُعد العالمي المتنقل Universal Mobile Telecommunications System، نظام اتصال الجيل الثالث المتنقل) في سويسرا: يبدو أن لا أحد يعرف لماذا بعض الشركات فقدت اهتمامها فجأة بهذه الرخص. وهناك سؤال آخر عما سيكون التأثير في المدى الطويل لتطوير البرامج مفتوحة المصدر، لأن العمليات التحتية توزيعية بشكل عالٍ ومنظمة ذاتيا بصورة كبيرة، وما هو معروف فقط جزئي عن الشركات التي تؤثر في تطوير البرامج المفتوحة المصدر.

اتجاهين قياسيين للتطوير في الإدارة

بعد هذا النقاش لن يكون مفاجئا ان مجال الإدارة انفصل إلى اتجاهين مختلفين بشكل واضح: الاتجاه التقليدي والذي يركز على اوجه محددة المعالم للشركة كما أوجزنا ذلك سابقاً؛ والاتجاه الحديث الذي يواجه تحد من بيئات غير مؤكدة ومحددة، مركزاً على الشراكة الخلاقة: القدرة على التمييز، التقييم، استغلال الفرص الجديدة، تخطيطها للتنفيذ بناءً على التجربة، و الحدس، والإبداع و الرؤية. الوضع التقليدي — قُدم بواسطة شخصيات رئيسية بارزة مثل كينيث أندروس (Kenneth Andrews) و المعروف بتحليل "سوُت:

المتعلق بمواطن القوة، ومواطن الضعف، و) " SWOT (Andrews ،الفرص، والتهديدات؛ أندروس، 1987م و يُدعى في بعض (Igor Ansoff) و إيجور أنسوف ،الأحيان أب التخطيط الاستراتيجي (أنسوف، 1965م الذي حاول أن يطبق طرق من الهندسة — (Ansoff التقليدية على شركات الإدارة الإستراتيجية، والتي اُنتُقدت بشدة من قبل هنري مينتزبيرج (Henry Mintzberg) (1994م). كما ان منتزبيرج الذي له رؤى فوضوية إلى حد ما أدت إلى مناظرات ساخنة في السبعينيات، اصبح احد المؤثرين الاداريين في التسعينيات. و قد ركز على إستراتيجية الظهور الطبيعي، بعبارة آخرى، ان فكرة الإدارة لا يمكن تخطيطها من الأعلى إلى الأسفل و لكن عوضاً عن ذلك يجب ان تعتمد على مبادرات استراتيجية عديدة وأنشطة لموظفين في التدرج السفلي من هيكل الشركة، والتي في نهاية المطاف ستظهر مؤخراً ضمن الانماط الكلية للسلوك من خلال تفاعلهم مع البيئة. فمثلا، إستراتيجيات الصيدلة الكبيرة لا تحددها ادارة عليا فقط، و لكنها تظهر من التفاعل المعقد بين أنشطة البحث الداخلية، الرؤى العلمية الجديدة، و ونتائج الدراسات الاكلينيكية، والتحركات

التنافسية، و القيم التى نتجت من خلال الشراكة، و جميعها تشكل التوجه العام للشركة.
وبالطبع قد يسهل وصف العمليات من الأعلى إلى الأسفل بدلا من شرح الظواهر المنبثقة، و قد يكون هذا سببا آخر يبين لماذا يكون العديد من الناس أكثر راحة مع منهجيات العمل من الأعلى إلى الأسفل، إلى جانب الشعور براحة أكبر. وهذا يتضح من الحقيقية التى حاول ايضاحها بصعوبة مؤلفان هذا الفصل – سايمون و رولف - فقد واجها صعوبة في شرح ما يقصده مينتزبيرج بالضبط عندما ركز على " إستراتيجية الطبيعة المنبثقة: nature of strategy emergent". هذا هوالفارق بين المدرسة الإستراتيجية التى تميل إلى الطريقة الاكثر تقليدية من جهة و بين المدرسة الأكثر حداثة التي تركز على السلوك غير المبرمج والتفاعل ومن جهة أخرى فهناك تشابه بصورة مدهشة مع هندسة التحكم الكلاسيكية – التي تسيطر على الصناعية الروبوتية، و التي نجحت فيها بصورة كبيرة – على خلاف الروبوتية الذكية، التي تتَطلب الأنواع الجديدة للمبادئ مثل المبادئ المقترحة في هذا الكتاب. وبهذه المبادئ فإننا بشكل ما نُعرِّف نوعا جديدا من الهندسة: بدلاً من طرق التصميم من الأعلى إلى الأسفل، فإننا

نهندس لظاهرة السلوك غير المبرمج، كما ناقشنا ذلك في الفصل الرابع.

إذا أردنا ابتكار شركات ناجحة وجاهزة لتأسيس تقانات جديدة وقطاع اعمال جديد مثل الاتصالات عن بُعد للجيل الثالث من الخلويات أو تطوير برمجيات (الجيل المقبل: next - generation)، فمن الاساسي لمجال الإدارة من ابتكار قطاع العمل و تصميم الشركة وايجاد مبادئ و طرق تكون في المتناول لإعداد (القياسات: measures) المطلوبة للشركة لتبقى ابداعية لفترات زمنية طويلة، وتتمكن من ابتكار أفكار ناجحة، و تقرر وتعمل تحت الظروف غير المؤكدة، وتستطيع استحداث طرق مثمرة للتفكير.

إذا أُعطينا خواص العالم الاقتصادي الحقيقي، و الذي يشبه بصورة قوية حالة الكائنات الذكية في محاولة للبقاء في بيئتها المحيطة المخصصة الاقتصادية، فإنه منطقياً تماماً أن ننظر للشركات على أنها هياكل متكيفة، و أنها أنظمة مجسدة. نحن نعتقد أن هذا المنظور يمكننا من الإجابة على المفاهيم المعينة والتحديات العملية للإدارة تحت هذه الظروف بتطبيق مبادئ التصميم التى تم وصفها في الفصول السابقة. وبإيجاز، نحن نأمل أن فهم الشركات على انها أنظمة ذكية مجسدة، و التفكير بابتكار

شركة بالمنهج التركيبي، الموجه بالتصميم، والمعتمد على طريقة المبدأ يخلق مفاهيم أساسية جديدة للتطبيق الإداري و للشراكة الخلاقة.

قبل أن نواصل، هناك ملاحظة قصيرة و ضرورية عن المصطلحات. كما أوضحنا الآن، أن البيئات التى تعمل فيها الشراكة الخلاقة تكون غير مؤكدة، وغامضة، و ديناميكية و معقدة. وفي بقية هذا الفصل سوف نستخدم مصطلح "غير مؤكد" للتعبير عن مثل هذه الحالات بدلا من سرد الصفات الاربعة دائماً.

المنهج التركيبي للإدارة 9.3

وهكذا فنحن نناقش ان منظور التجسيد للإدارة و الشراكة الخلاقة كطريقة معينة لطرح الأسئلة وتفسير التطبيق الإداري؛ على أنه أسلوب تفكير خاص. ومشابه للهندسة، تُعرَّف الإدارة على انها تُشكِّل وتصمِّم نشاط وهياكل قطاع الاعمال والمنظمات؛ على سبيل المثال، لإنشاء مشروع شركة جديد في التكنولوجية الحيوية، فهذه الخدمة الجديدة تتطلب استغلال البنية التحتية للاتصالات الخلوية للجيل الثالث، أو وحدة قطاع عمل مخصصة للغذاء ضمن شركة تغذية كبيرة. معظم الأبحاث الأكاديمية عن الإدارة يكون وصفياً وتحليلياً فقط، بحيث تدرس شروط نجاح الاستراتيجيات دون أخذ التعقيد

المتأصل للتطبيق الإداري في الاعتبار. ومعظم المراجع العامة فلسفية جداً و تقترح قواعد مبسطة لانجاح الشركة، دون الاعتماداً على السياق او الحالة. لقد تُرك للإدارة نفسها أن تدمج هذه المفاهيم المتنوعة في تطبيقها المحدد وتحولها إلى سلوكيات موثوق في نتائجها. نحن نشعر أنه بإمكاننا أن نوفر "الحلقة المفقودة " من خلال مبادئ التصميم التي طورناها، ونعتقد أيضا أنها لن تكون نافعة فقط للمدراء و لكن أيضاً سوف نساعد المستثمرين على تقييم فرص للاستثمارات المحتملة.

من الواضح أن (embodied perspective: منظور التجسيد) للشركات مفهوم مجازي، لأن الشركات عبارة عن تركيبات اجتماعية وهي بحد ذاتها كيانات افتراضية أكثر من كونها كيانات مجسدة. وحقيقة أن بعض مظاهر الشركات – مثل المباني و البنية التحتية و الناس– مجسدة لا تغير صورتها. و بالرغم من ذلك، تستطيع الشركات – بالجملة – أن تحس بيئاتها و أن تتصرف بناء عليها بطرق ذكية. ومن المهم أننا فيما يلي عندما نفكر في عقولنا عن الشركة ان يكون ذلك بشكل مجمل بدلاً من التفكير فقط في الكائنات الذكية المكونة لها: أي المدراء و الموظفين و الطاقم. دعونا الآن ندرس

بدقة بعض الاعتبارات النظرية التي اقترحناها في الفصل الثالث ـــالمنهج التركيبي، والإستجابة - و - التنوع، والاطار المرجعي، والسلوك غير المبرمج.

الإستجابة - و - التنوع و الاستكشاف والاستغلال

في الفصل الثالث قدَّمنا فكرة الإستجابة و التنوعوأشرنا إلى أنها تعاود الظهور بمظاهر وتحت مسميات متنوعة في المؤلفات التي نشرت في علم الادراك: المرونة والثبات في التعلم والتطوير، والاستغلال والاستكشاف في السياق التطوري.

في النظريات التنظيمية التطورية و التعلمية لتطوير الشركة و السوق، يكون الإطار السائد للتفكير في سلوك المدراء هو الاستغلال - الاستكشاف. لكي تبقي وتستمر الشركات في بيئات ديناميكية ومعقدة، في ظل مواردها المحدودة – المتعلقة بالتمويل والتسهيلات والتوظيف ووسائل الإنتاج والبنية التحتية لتقانة الاتصالات – من المهم، من جهة تأسيس التنوع الضروري لتكون الشركات قادرة على التصرف بشكل ملائم مع الفرص و التحديات المحتملة واكتشاف ما إذا كان بالامكان تحويل هذه الفرص الى مشاريع ناجحة. من جهة أخرى، من المهم استغلال هذه الفرص بصورة مثالية ـــ التقانات، قطاعات الأعمال، المشاريع ـــالمتأصلة في الشركة.

على سبيل المثال، الخواص التى يمكن إضافتها للمنتج الناجح، أو الخدمات الإضافية التي يمكن توفيرها لمجموعة محددة جداً من الزبائن الأوفياء.

من المهم لظهور شركات جديدة، تأسيس نظرة مركَّزة جلية واضحة المعالم؛ بالفعل هذا أحد معايير التقييم الرئيسية التي يستخدمها المستثمرون عندما يتخذون قراراً بأن يستثمروا أو لا. و لكن وجود البيئات غير المؤكدة يدل على أن هناك اتجاهات وتصرفات عديدة ممكنة تستطيع الشركة أن تتحرك فيها. فعلى سبيل المثال، بالنسبة لمشروع شركة متخصصة في المستلزمات البرمجية، ان اختيار اساس التقانة الملائمة (الأجهزة و البرامج)، و التعريف بنموذج قطاع العمل الصحيح (مشاريع موجهة للزبائن مقابل منتجات ومستلزمات برمجية)، والتعريف بالمناهج الفعَّالة وتطوير المستلزمات البرمجية، وابتكار اسلوب لفهم السوق (مثل، ماهي أنواع المنتجات التي يتطلبها السوق، و ماهي سرعة تغيره، وكيف تؤثر المنتجات الأخرى، وما هي الحالة الاقتصادية العامة، و السياسة التى تؤثر على السوق)، وجميع هذه الامور غير محددة - و ليست مفهومة جيداً – و بشكل أولي هي مناطق غير معرَّفة. أما لمشروع شركة جديدة في التقانة الحيوية، فان وجود

تعريفاً مركزاً واضحاً يعتبر هو التحدي الأكبر، حيث من الممكن أن يستغرق تكامل المنتج خمسة عشر عاماً سواء كان منتجاً صيدليا، مادة كيميائية، دواءاً أو لقاحاً ناجحاً في السوق.علاوة على ذلك، فإن تعيين الموارد المحدودة مهم جداً و مستحيل في ذات الوقت: مما يضع المدراء في معضلة موازنة سواءً أحبوا ذلك أم لا.

التركيز بشكل ضيق جداً على اتجاه واحد معين قد يكون خطيراً. فبالنسبة لمشروع شركة المستلزمات البرمجية من الممكن أن اساس التقنية المستخدمة لتطويرهم يحركهم في اتجاه سلبي غير متوقع – فعلى سبيل المثال، تخسر شركة المستلزمات المادية التى توفر اساس التقنية اسهمها في السوق – لان السوق لا يتطور كما كان مخططا له مسبقاً، ربما لأن الجهة المسؤلة عن مراقبة السوق الذي طورت له المستلزمات البرمجية عن بُعد لم يتمكن من اللحاق بمتطلبات السوق – أو أن نموذج قطاع العمل لا يتلائم أو لم يُفهم من قبل السوق. أما بالنسبة لمشروع شركة التقانة الحيوية، فإن حل المعضلة او الموازنة بين الاستكشاف و الاستغلال هو أحد المشاكل الكبرى لأن مشروع الشركات الرأسمالية تحاول أن تعرِّف خطط و معالم واضحة للشركات التي تستثمر فيها (استغلال)، بينما في نفس الوقت معرفة ان

مشروع الشركة سوف يغير من اتجاهه مع مرور الزمن وان الخطط لابد وان تُعدَّل وفقاً لذلك (استكشاف). بالنسبة لشركات المعلوماتية الحيوية، مثلاً، و التي تعمل بين التقانة الحيوية و تقانة المعلوماتية، فالواقع ان حقيقة عدم التأكد متأصلة في كلا المجالين يتضاعف، كما سبقت الاشارة، مما يجعل البحث عن توازن بين الإستجابة و التنوعأصعب. لذلك فان إيجاد الوضع الصحيح بين تحديد تعريف وتركيزاً واضحا لاستغلال الفرص الجديدة، وهيكلة الشركة بطريقة مرنة بشكل يسمح بالاستكشاف و الاستجابة لتغيرات التقانة وبيئات قطاع العمل هو بالتأكيد امر أساسي.

الإطار المرجعي و محاكاة السلوك

بالنسبة للإدارة و الشراكة الخلاقة، فإن مسألة الإطار المرجعي ذات أهمية خاصة: الشركاء الخلاقين و الإداريون يتعلمون من خلال مراقبة سلوك زملائهم في شركاتهم وفي الشركات المنافسة؛ من خلال قراءة قصص نجاح منشورة في الصحف و المجلات؛ و من خلال طريق مراقبة الشركات الحديثة الناجحة و محاولة التكهن بما يمكن ان يفعلوه؛ ومن خلال دراسة معلمي الإدارة العالميين الناجحون الذين يروجون لقواعد معينة للنجاح. عرفنا من نظرية الإدارة (مثل، جومز و جونز:200،

أن المدراء و الشركاء (Gomez and Jones الخلاقين يميلون إلى المشاركة في محاكاة السلوك حينما تكون هناك حالة عدم تأكد؛ او عندما تواجههم مشكلة ابتكار قطاع عمل جديد أو بناء شركة جديدة؛ حيث سيكون هناك دائماً الكثير من عدم التأكد. و نقصد بمحاكاة السلوك أن المدراء يحاكون بشكل كبير سلوك المدراء الآخرين بدلاً من متابعة تصرفهم الشخصي في عملهم الخاص. في منظورنا، من المهم للشراكاء الخلاقين والمدراء أن يفهموا ماذا يرون و ماذا يقرؤون بدون شرح كيف ينتج سلوك الشركة و المدراء. و في أغلب الأحيان، يعمم المدراء الحالات الخاصة دون اعتبار لبيئة معينة و حتى للطور التاريخي من خلال الحالات التي تمت مراقبتها. و كما نعرف، أنه من خلال مراقبة السلوك وحده، لا نستطيع رسم استنتاجات قوية عن الآليات الداعمة التي تسبب السلوك. تذكر مناقشتنا عن بناء الروبوت الذي يمشي و يركض: إستقاء حركات المفصل من النظام البيولوجي و محاولة إعادة إنتاجه في الروبوتات لا يؤدي إلى مشي ملائم. الطريقة الأفضل هي محاولة فهم الآليات الكامنة وراءعملية المشي بدلاً من محاولة إعادة إنتاج أو استنساخ حركات المفصل الحقيقي، لأن تلك الحركات كانت نتيجة ظروف بيئية

خاصة ومحددة جداً – السطوح المنبسطة، و الوعرة والمائلة.

علاوة على ذلك، ومعطى ان سلوك الشركة ينبثق من تفاعلها مع البيئة، فمن المهم تصميم الشركة مع أخذ كلا من الانبثاق و التفاعل في الاعتبار، و ليس ببساطة محاولة تقليد سلوك شركة أخرى. على سبيل المثال، هناك طرق و عمليات مختلفة لتطوير برامج عالية الجودة، وقد يؤدي هذا ببساطة إلى أن تقليد التطبيقات البرمجية الناجحة لدى المنافسين لا ينتج بالضرورة نفس النتائج أو حتى نتائج مشابهة. حيث أن هناك اعتباراً للخلفيات الأيديولوجية، والتقنية، والتنظيمية، والثقافية الخاصة التي تتماشى مع الخطوات العملية لهندسة البرامج، والتي تشكل المكونات الجوهرية لاليات البنى التحتية الداعمة، والتي لابد من الاهتمام بها. و لكن لأن هذه التطبيقات العملية قد طورت في الغالب مع مرور السنين وهي توُزيعية بصورة عالية في كافة أنحاء الشركة، فإن تقليدها بشكل افتراضي يكون مستحيل ايضاً. بعبارة أخرى، ما نراقبه هو السلوك الإجمالي، أو العام للشركة، و ليس الميكانيكيات التحتية الداعمة. و لكي نقلد السلوك، سنحتاج إلى فهم و تطبيق القوانين المحلية الخاصة للتفاعل و التي تؤدي إلى سلوك عام:

تعدد العمليات و الأنشطة الموازية وهذا ليس مرئياً او ظاهراً لكل الناس – و كما رأينا في عدد من المرات، ان استنتاج هذه القوانين و العمليات فقط من خلال مراقبة السلوك العام سيكون قريباً من المستحيل. الصعوبة الإضافية هي أنه يوجد في الغالب تناقض كبير بين ما هو مكتوب في أدلة تطوير البرامجيات الرسمية، و بين العمليات التطبيقية الحقيقية لتطوير البرامجيات. لذلك، فإن دراسة الأدلة البرمجية لن يساعد كثيراً.

مبادئ التصميم لبناء شركات ذكية 9.4

ابتداء من هذه الانعكاسات الاساسية والتوضيحات الأولية، بالأضافة إلى مبادئ تصميم الكائن التي طُوِّرَت في الفصول السابقة، سنحاول استنتاج سلسلة من التضمينات للابتكار الحقيقي و تطوير و تأسيس قطاع الأعمال و الشركات الناجحة.

كما أوضحنا في الفصل الرابع، إن مبادئ التصميم تُشكِّل مجموعة ثابتة، مما يقتضي ألا ننظر اليها كل على حدة بصورة منفصلة ومنعزلة. على سبيل المثال، إذا تم أخذ مبدأ التصميم الرخيص، على حدة، فقد يكون مضللاً لأنه لا يرتبط بمبدأ التكرار التبادلي، والذي يعتبر بالتأكيد أساسي لتحقيق سلوك متكيف أكثر فعالية. ولقد ذكرنا ذلك – كما في الفصول الاخرى عن تطبيقات مبادئ التصميم

– بأننا لن نعطي تلخيص تنظيمي عن جميع المبادئ، و لكن سنختار بعضها: أي تلك المبادئ التي نشعر أن بإمكانها أن تساهم في ابتكار مفاهيم جديدة في هذا المجال. ولهذا سنبحث في مبدأ العناصر الثلاثة متناهية الدقة، ومبدأ الكائن المتكامل، ومبدأ التناسق الحسي - الحركي، و مبادئ التصميم الرخيص و التكرار التبادلي، ومبدأ القيمة.

مبدأ العناصر الثلاثة المتناهية الدقة

إن ابتكار قطاع العمل و بناء الشركة من منظور الأنظمة المجسدة في البدأ هو استعمال لإستعارة بيولوجية وقبل كل شيء يدل على فهم عميق بمعنى الكلمة لما يعنيه أن تبتكروتساند شركة في بيئة ديناميكية معقدة ومحددة، أو في بيئة محيطة مخصصة. وكما هو مقترح من قبل لمبدأ العناصر الثلاثة متناهية الدقة، من المهم لأي شراكة خلاقة أو مديرعند ابتكار شركة جديدة أو تأسيس عمل جديد أن يسأل الأسئلة الثلاثة التالية لمطابقة العناصر الأساسية لعملية تصميم الكائن: تعريف البيئة المحيطة المخصصة، والسلوك والمهام المطلوبة، و الكائن ذاته.

1. البيئة المحيطة المخصصة ، ما أعرفه (وما لا أعرفه) عن البيئة المحيطة المخصصة والبيئة (الاقتصادية المالية، التقانة، المؤسساتية، والثقافية) التى أود ان اكوِّن فيها قطاع عملي؟

2. والسلوك والمهام المطلوبة، ماذا أعرف عن الخصائص المتعلقة بسلوكي المتوقع (التفاعل مع البيئة) كشركة تحقق نجاحا في البيئة المحيطة المخصصة؟
3. الكائن ذاته، إذا أعرف عن الإعدادت الخاصة بشركتي و أنشطة قطاع عملي، من ناحية الهيكلة، والعمليات، والكفاءات، والثقافة؟

أولاً، هناك اختلافات أساسية بين، مثلاً، ابتكار شركة جديدة أو قطاع عمل في التقانة الحيوية وبين ابتكار شركة جديدة لهندسة البرمجيات. استغرق تطوير الادوية الجديدة، كما ذكرنا سابقاً، ما معدله أكثر من عقد، وفي بعض الأحيان قد يصل إلى خمسة عشر عاماً، و قد تكلف مئات الملايين من الدولارات. هناك أيضاً الكثير من عدم التأكد المتأصل والقلق حول امكانية نجاح الدواء، لأن مجال التقانة الحيوية يخضع لتغيير سريع. قد يعدل مثل هذا التغيير الأساس ذاته الذي طُورت من خلاله فكرة المنتج، مثلاً بسبب توفر التقانات الجديدة من الهندسة الوراثية. أما في مجال تطوير البرمجيات، فإن التقانات التحتية الأساسية مختلفة جداً ومدة زمن التطوير أقصر، وهي حقيقة لها اثر بالغ على (التطبيقات الإجرائية لقطاع العمل: business practices). فمثلاً، تستطيع شركات البرمجيات عادة أن تصنع دخلا في فترة زمنية أقصر بكثير من تلك التي تتطلبها مشاريع التقانة الحيوية. ولكن، كما هو معروف في مجال التقانة الحيوية، فان البيئة المحيطة المخصصة تتصف بعدم

التأكد بصورة عالية، وان كان ذلك بدرجة كبيرة اقل في مجال تطوير البرمجيات وذلك بسبب الإطار الزمني الأقصر.

ثانياً، من المهم جداً لأي شركة التفكير بسلوكياتها المرغوبة ومهامها المطلوبة. مثلاً، هل تتبع الشركة طريق للنمو العالي أو النمو المعتدل؟ هل تركز شركة التقانة الحيوية على البحث الأساسي أو تعمل لتطوير المنتج؟ أن السلوكيات المطلوبة لشركة البرمجيات التى قد تشمل العمل بأسلوب اما ان يكون موجه نحو المنتج أو ان يكون موجه نحو المشروع للحلول المعدلة (مثال، تطوير نظم معالجة النصوص أو محركات البحث لتكون متاجرة و تباع في السوق مقابل ابتكار حلول برمجية معدلة). هذه الأنواع المختلفة للسلوكيات تتطلب أنواع مختلفة تماماً من الموارد و قرارات التصميم. وبشكل واضح، فإن الأنماط السلوكية المرغوبة للشركة، والبيئة التقنية والاقتصادية المناسبة، ومعيار النجاح لهذه الشركة المحددة جميع ذلك يجب أن يكون متحداً. مثلاً، لو كان حجم السوق صغير جداً و كان هناك تنافس شديد جداً في البيئة المحيطة المخصصة، فإن الأسلوب الموجه نحو المنتج قد لا يكون ذا مردود مالي.

ثالثا ً، الشركة ذاتها – هيكليتها وعملياتها التنظيمية – يجب أن يتم تصميمها. وهذا يتطلب استخدام مبادئ تصميم الكائن التي نناقشها في هذا الفصل.

إن التحدي الكبير لابتكار وتأسيس شركات وقطاع أعمال جديدة يكمن في التكامل والتفاعل لهذه الأبعاد الثلاثة: فهم البيئة ذات العلاقة و خصائصها (في أي بيئة نكون؟)، الهياكل والكفاءات للشركة (ماهي خصائص شركتنا؟)، و– غالباً ما تُهمل أو تُعتبر من المسلمات في الشراكة الخلاقة والإدارة – السلوكيات المقصود تنفيذها (كيف ننوي أن نتصرف كشركة ؟). وهذا يقتضي أن النقط التالية تحتاج أن تُهيأ وتُعرَّف بشكل واضح: (1) ماذا يعرف عن البيئة، والشركة و سلوكها المقصود؟ و (2) إلى أي مدى تكون البيئة، والشركة، والسلوكيات المقصودة متحدة؟. يمكن أن يستخدم مبدأ العناصر الثلاثة متناهية الدقة كمرشد لينعكس على مشكلة التصميم: إذا أُعطي اثنان من العناصر الثلاثة لمتناهية الدقة، فإن الثالث سوف يظهر.على سبيل المثال، إذا أُعطي البيئة المحيطة المخصصة؛ أي البيئة الاقتصادية، والكائن؛ أي هياكل وعمليات الشركة، فإن السلوك سيظهر من خلال تفاعل الكائن مع البيئة. وبالتبادل، إذا أُعطيت السلوكيات المطلوبة و المهام و البيئة الاقتصادية، يمكن التوصل الى

النتيجة التى يمكن من خلالها رسم هيكلة الشركة. في الحالة الثالثة، مُعطى الكائن وسلوكياته، فما هي البيئات التي سوف يُوظَف فيها الكائن بالصورة الصحيحة؟ قد تحدث هذه الحالة الأخيرة عندما نتطلع الشركة لأسواق جديدة.

هناك العديد من الخطط المعيارية في المنشورات الإدارية لمناقشة وتحليل القضايا والأسئلة المتعلقة بالبيئة والشركة. وربما الثلاثة المعايير الأكثر بروزاً هي: تقييم مواطن القوة، و مواطن الضعف، و الفرص، والتهديدات و قد قُدمت من قبل –(SWOT) – تحليل سوُت البروفسور المتخصص في سياسة العمل كينيث بكلية قطاع الاعمال (Kenneth Andrews)اندروس بجامعة هارفرد في (Business School) ،(Andrews ،السبعينات (مثل، أندروس، 1987 م الذي اقترح – في الأساس – التحليل التنظيمي لهياكل الشركة و تفاعلاتها المحتملة مع البيئة المحيطة المخصصة التي ستُدار فيها؛ هناك أيضا مفهوم القوى الخمسة والإستراتيجية التنافسية بواسطة مايكل بورتر أيضاً من جامعة هارفرد في ،(Porter Michael) ؛ وكذلك النقاش(Porter ،الثمانينيات (بورتر، 1980م الموصول حول لب الكفاءات الذي بدأ به جاري هامل

(Gary Hamel) (صاحب شركة " Strategos"، وهي شركة استشارية متخصصة في الإستراتيجية و الإبداعية)، و سي.كي. براهالاد (C. K. Prahalad) من جامعة ميتشيغن في التسعينيات (هامل و براهالاد، والمثير في.(Hamel and Prahalad ،1994 م كل هذه الاقتراحات أن هناك تركيز شديد على الشركة و بيئتها، ولكن يبدو أنهم استهانوا بأهمية فهم أن سلوك الشركة الذي ينبثق من التفاعلات المستمرة بين البيئة، والبيئة المحيطة المخصصة، وهياكل الشركة. هذا التركيز ايضاً يقتضي ان هناك اعتبارات غير كافية قد أُعطيت لاتحاد جميع هذه العناصر الثلاثة.

مبدأ الكائن المتكامل

ينص مبدأ الكائن المتكامل على أنه عند تصميم الكائن يجب أن نفكر بسلوك الكائن المتكامل في العالم الحقيقي. أحد التضمينات المهمة هي أنه يجب ان لا نصمم جزءا منفصلا وحيدا من الأنظمة. على سبيل المثال، يجب أن لا نفكر في تصميم الأنظمة الحسية بدون التفكير في الأنظمة الحركية، وذلك بسبب الاقتران بين الإثنين. في سياق الشركات يجب أن نحاول دائماً تحديد نوع المعلومات التي قد تحتاجها الشركة – مثال: القرار المتعلق بتدشين مشروع معين – والتفكير من ناحية أخرى بالأعمال

المحتملة لدى الشركة لاستخلاص المعلومات المطلوبة من بيئتها (أنظر أيضاً الى مبدأ التناسق الحسي - الحركي، في الأسفل). ولكن " إحساس البيئة: sensing of the environment " ليس اعتباطياً؛ إذ يجب أن يكون موجهاً إلى حفظ ربحية الشركة في المدى الطويل. تذكر أن الكائنات ذوي الفائدة الخاصة لنا، كما أُوجزنا في الفصل الرابع، هي الكائنات الذاتية التحكم والمكتفية ذاتياً. أي بعبارة أخرى، اللآتي تستطيع دعم أنفسها لفترات ممتدة من الوقت بدون – أو بمساعدة قليلة من – الكائنات الآخرى.

وبهذا، فإن التحدي الأكبر لأي شركة هو تأسيس هيكل نظامي قابل للدعم، الهيكل الذي يُمكِّن الشركة من البقاء لفترات ممتدة على المدى الطويل. قابلية الدعم على الأخص تقتضي توفر موارد ذاتية، وذلك يعني أن الشركة، على المدى الطويل، يجب أن تكون قادرة على توليد مواردها الخاصة لأنها يجب ألا تعتمد دائماً على الآخرين. وهذا يفسر لماذا يكون النقاش و التحليل عن نموذج قطاع العمل (business model): لأي شركة مهم جداً: من أين تأتي بالضبط الموارد الضرورية – من المبيعات الخاصة بالشركة، أو من استثمارات الشركات الأخرى ؟ كيف ستوزع الاستثمارات، مثلاً، في

تطوير البنية التحتية، أو في توظيف الخبرة الخارجية، أو في اكتساب المهارة المعرفية لشراء شركات أخرى وغيره؟.

ان الضجيج في الإنترنت وفقاعة التقانة في نهاية التسعينت، أوجدت مناظرة ساخنة حول ما إذا كانت آليات توليد الموراد و توزيعها للشركات التقليدية يمكن تطبيقها على مشروع شركة جديدة في شبكة الاقتصاد: شركات دوت كوم (dot - com) الشهيرة. في هذه الأثناء، عرفنا أن تلك الشركات التي بقيت تملك نموذج قطاع عمل واضح من ناحية الموارد: ايباي (eBay)، أمازون (Amazon)، و جوجل (Google)، جميعها لديها فكرة واضحة و بسيطة عن من أين سيأتي الدخل في المدى القريب وفي المدى البعيد ـــ مثلاً، في الحالة الأولية يجب أن تأتي النسبة العالية للدخل من المستثمرين بينما الزيادة الثابتة للدخل يجب أن تأتي من مبيعات المنتجات والخدمات الحقيقية لاحقاً (الكتب، و المزاد، و الإعلان الأرصفة). إذا أمكن تحقيق مثل هذه الفكرة، فإن الشركة تستطيع أن تبقي نفسها مع مرور الوقت و تصبح ذاتية التحكم. بالمقابل، الشركات التي تُدار للحصول على رأس مال مشروع شركة وتحقيق عروض أولية عامة (IPOs) بعبارة أخرى، ـــــ لا تبقى

تتجه هذه الشركات إلى البورصة – بدون فهم واضح لتدفق الموارد أو الى الكيفية التي يمكن أن تضمن بها السيولة المالية أو يُضمن بها تطوير قطاع العمل. مثال عظيم على ذلك هو تلك الشركة الخاسرة ((govWorks.com، والتي أُحتفل بها كثيراً وتم تغطيتها بشكل كبيرمن قِبَل قنوات التلفزيون الأمريكي، و عرضت في الفيلم الوثائقي البداية. كوم (startup.com).

بهذا المنظور، يكون من المهم بالنسبة لمدراء الشركاء الخلاقين أن ينظروا إلى شركاتهم ونشاطات قطاع عملهم على انها كائنات متكاملة، لأن الاكتفاء الذاتي والتحكم الذاتي يلعبان دورا خطيرا: علينا ليس فقط أن نهيئ ونعرِّف بوضوح ماهي الموارد الضرورية لشركتنا، ولكن أيضاً أن نحدد من أين تأتي، الآن وفي المستقبل. ومعطى التنافس على الموارد في البيئة المحيطة المخصصة، وكيف يمكن أن يُضمن تدفق المورد بشكل ثابت؟ وماهي الموارد التي من الضروري أن تُوزع لتسمح بتوليد المورد في المستقبل؟. علاوة على ذلك، في هذا النقاش حول المورد لا يجب أن يكون التركيز على جزء معين، ولكن على الكائن بأكمله: يجب أن تؤخذ جميع جوانب الشركة في الاعتبار.

على سبيل المثال، يمكن في أغلب الأحيان تبسيط مشكلة الابصار في الروبوت إلى حد كبير و ذلك إذا أُعطي القدرة على التحرك بسهولة: يستطيع الكائن أن يتحرك بالقرب من الجسم الذي يتم فحصه، و يستطيع أن يتحرك حوله وأن يراه من مسافات وزوايا متعددة. وبهذا، يجب أن تُستثمر الموارد القليلة في الإبصار إذا اخذنا في الاعتبار النظام الحركي أيضاً، وذلك بدلاً من محاولة حل مشكلة الإبصار بصورة منعزلة. بمنظور أنه بدلاً من (Mintzberg) مشابه، فقد أكد منتزبيرج الاعتماد على جمع معلومات إستراتيجية ممتدة على فترة زمنية وأنشطة تخطيط إستراتيجية من مقر الشركة الام التى في قمة المنظمة، فإن معظم المدراء حقيقة يفضلون التواصل مع الأشخاص المشتركين مباشرة بمبادرات معينة و بأنشطة محلية على المستوى الاولي من المنظمة، كطريقة فعالة لتقصي المعلومات.

ليست هناك شركة أو نشاط قطاع عمل يمكن أن يصبح قابلاً للدعم دون الأخذ في الاعتبار أن التوليد والتوزيع للموارد الضرورية نفسها يتطلب استثمارا كبير للموارد. المثير، أن هناك إدارة بارزة، أو بالأحرى محددة —— تم العمل بها لأول مرة بشكل كبير من قبل أساتذة بجامعة هارفرد و ستانفورد —— لمناقشة أهمية فهم اعتماد

المورد وذلك لتحقيق توزيع المورد الصحيح. وقد بدأ سلسلة الجدال هذه جوزيف باور (Joseph Bower) جامعة هارفرد) في السبعينيات و استؤنفت من قبل) روبرت بورجلمان (Robert Burgelman) (جامعة ستانفورد) في الثمانينات و من قبل كلايتون كريستينسن (Clayton Christensen) (في جامعة هارفرد) في التسعينات. أساساً، أكدوا على أن أكثر التركيز يجب أن يُوضع على فهم كيفية اعتماد الشركة على الموارد الداخلية و الخارجية، و على الكيفية التي تستطيع الشركة بها فعلياً تحقيق استقلال لتبلغ درجة معينة من التحكم الذاتي في السوق. الميزة الأكثر خصوصية لهذا المبدأ هي أنه لايجب أن يحلل أحد عنصرا واحدا بصورة منعزلة، ولكن يجب أن ننظر دائماً للتكرارات الحسية الحركية بصورة كاملة، كما يوضح ذلك مبدأ التناسق الحسي الحركي الذي سنناقشه في الفقرة التالية.

مبدأ التناسق الحسي الحركي

إحدى أهم المفاهيم و أكثر الرؤى إذهالاً هي تلك التي تأتي من الفهم العميق لمبدأ التناسق الحسي الحركي، والتى تنص في جوهرها على أنه من خلال التفاعل مع البيئة، يُحفز المثير الاستشعاري في قنوات حسية مختلفة، وأن البيانات الحسية المولدة مهيكلة بشكل عال

و تحتوي على ارتباطات، ضمن قناة حسية واحدة و بين القنوات المتعددة. مرة أخرى، يمكن ترجمة هذه الرؤية إلى داخل سياق الإدارة. أحد التحديات الرئيسية للمدراء والشركاء الخلاقين هو التعامل مع معلومات معقدة ذات تنوع هائل، و كذلك مع تفسيرات لمعطيات مالية واقتصادية و أرقام تتعلق بالإنتاج ، جميعها وثيقة الصلة فعلاً بالشركة. وفي ذات الوقت، كما أشرنا سابقاً لعدة مرات، يواجه الشركاء الخلاقون والمدراء مشكلة عدم التأكد بسبب نقص المعلومات أو بسبب نقص فهمهم لبيئتهم، بالإضافة إلى اهتمامهم بمراكزهم، ويشمل ذلك كيف ستستجيب البيئة لما تفعله الشركة.

نحن نعرف من البحث و التدريب أن المدراء والشركاء الخلاقين الناجحين يتصرفون بطريقة معينة عند مواجهة عدم التأكد. فبدلاً من انتظار معلومات إضافية، والتى تسمح لهم بفهم وتمثيل أفضل للوضع الحالي، فهم يتفاعلون بطريقة محفزة مع البيئة لكي يثيروا ردود أفعال قوية، وتجاوب، و فرص تعلم – تعكس بالطبع و بشكل دقيق محتوى مبدأ التناسق الحسي الحركي. فعندما يعرض الشركاء الخلاقون خطط قطاع عملهم للزبائن المحتملين والمستثمرين، فإنهم يولدون تجاوباً و ردود أفعال تسمح لهم بتطوير أبعد وبتحديد

حالات قطاع عملهم؛ تطور شركات التقانة منتجاتها الجديدة بالتعاون الكبير مع المستخدمين الرئيسيين المحتملين لتوضيح مميزات وخصائص معينة يجب أن توفرها في المنتج الجديد لكي يصبح ناجحاً.

علاوة على ذلك، فمن منظور مبدأ التناسق الحسي الحركي، يكون من المهم فهم الكيفية التي تتم، أثناء هذه التفاعلات مع البيئة، حتى تُستنبط الارتباطات من البيانات و كذلك التعرف على طبيعة هذه الارتباطات، حتى يتم تقييم نوعية البيانات التي وُلِدت. إنه أمر جوهري أن يثير مشروع شركة جديدة أو مبادرات جديدة تجاوباً من خلال الشركات المؤسسية ومن خلال مساهمات مصادر معينة: من المستثمرين ذوي الخبرة الذين يفهمون حقاً حالة قطاع العمل الخاص؛ أو من الزبائن المحتملين لهذا المنتج المطور حديثاً، والذي له ردود أفعال يمكن أن تُستخدم لرسم النتائج المتوقعة عن إحتمالات هذا المنتج. هذا النشاط لإثارة المعلومات، ولتُوَليدها عن طريق التعامل مع البيئة، يكون أساساً لاكتساب نظرة عامة عن حالة السوق؛ وكذلك – كما نعرف من خلال الاستغلال و الاستكشاف، يجب أن نستثمر كمية معينة من الموارد في الاستكشاف من أجل البقاء على المدى الطويل.

تتناقض هذه الاعتبارات مع المنظور السائد في المنشورات الإدارية، والتي تركز على أهمية التعريف، والتقييم، والاستغلال للفرص الخارجية الجديدة، والاستراتيجيات المحتملة كشرط مسبق لابتكار قطاع عمل ناجح: تضع هذه الرؤية كل تركيزها على الإحساس، وتكاد تهمل التصرف الفعلي. بالمقابل، يقترح مبدأ التناسق الحسي الحركي أنه قبل أن نُعَرِّف و نقيم فإن من الواجب علينا أن نتصرف فعلياً لكي تتولد لدينا المعلومات المطلوبة. و يمكن تلخيص هذا من خلال الأسئلة التالية: :أي أنواع من المفاهيم و(المعلومات الواردة feedback) ستكون أكثر قيمة لتمييز فرصة العمل الجديدة؟ و يستلزم هذا بدوره سؤال آخر– تمت اثارته من قبل – عن ماهية التفاعلات التي سوف تُنتِج المعلومات الضرورية؟

ليس من المدهش أن هذه السلسة من المناقشات غائبة بشكل تام تقريباً في المنشورات الإدارية، باستثناء القليل من المواقف المعارضة. فمن جهة، هناك وجهة نظر لأقلية من قبل الممارسين الذين لديهم خبرة بواقع الشراكة الخلاقة لتطوير شركة جديدة أو قطاع عمل جديد :أُيدت العمل في ظروف غير مؤكدة – " المبشر evangelist " السابق لماكنتوش جاي كواساكي

في كتابه قوانين ،(Guy Kawasaki) للثوريين(Rules for Revolutionaries) ومن جهة – Kawasaki) ،كواساكي، 1999 م) أخرى، فإن هناك من العلماء المبدعين مثل كارل ويك من جامعة ميتشيغن، الذي سن فكرة (Karl Weick) بدائية يمكن اعادة صياغتها بالعبارة: " كيف تعرف بماذا ،تفكر، قبل أن ترى ماذا تفعل ؟ " (ويك، 1995 م Weick).

مبدأ التصميم الزهيد

يتعلق مبدأ التصميم الزهيد في جوهره باستغلال أي شيء يحدث ليكون موجوداً في البيئة المحيطة المخصصة لتحقيق أهداف خاصة. معطى موارد محدودة متوفرة تمكن من الحصول على منتجات جديدة، وابتكار شركات جديدة، وإطلاق مبادرات جديدة، عندها من المهم التفكير باستغلال الآليات الموجودة في البيئة أو في الشركة لرفع الكفاءة (بعبارة أخرى، إنجاز العمل بالحد الأدنى من الموارد) و فاعلية (لإنجاز الأهداف الخاصة).

هناك مجال تزداد أهميته بشكل سريع وهو الاتصالات.

نحن نعرف أن التحد الأكبر لمعظم الشركات وقطاع الأعمال لايكمن في تطوير المنتجات الجديدة والخدمات بحد ذاتها، ولكن في كيفية طريقة إيصالها الى المتحكمين

بالسوق، وذلك يشمل الزبائن المحتملين، و شركاء قطاع العمل، والمنافسين حيث أن هذا يعتبر شرط لتأسيس المنتج في السوق. تذكر نقاشنا عن كيفية ظهور تطورات في السوق من خلال التفاعلات المعقدة: تُشكِّل عملية الاتصالات هذه مظهرا واحدا لهذه الديناميكية المعقدة، و قد يستجيب أو لا يستجيب لها السوق. وهكذا فمن المهم هيكلة وتنظيم الاتصالات للمنتجات والخدمات الجديدة باقصى فاعلية ممكنة. كما أن العديد من الشركات قد بدأت فعلاً باستغلال الإعلام واستخدمته في قطاع الأعمال من أجل تلك الأغراض. على سبيل المثال، استغلت شركتي دل (Dell) و أمازون (Amazon) وجودهما على الويب (الشبكة العنكبوتية)، ووظفوا الشبكة كقناة رئيسية لعملهم، وذلك بهدف الاتصالات التى تتعلق بالخدمات و المنتجات الجديدة. وقد استغلت نوكيا منتجها الخاص، شبكات الهاتف الخلوي، لذات الهدف تماماً. و أخيراً، حددت شركة سواتش (Swatch) من خلال اتصالاتها اختيارها للموقع. على سبيل المثال، اكتسبت الشركة عام 2004م بناية متعددة الطوابق بحي جينزا (Ginza district) الممتاز الموجود بطوكيو والغني بكثرة مناطق التسوق كما تتوفر به السلع الكمالية المرفهة، كما ستبني به مخزنها الرئيسي. وتنقل الشركة فكرة "

سواتش كشركة رخيصة و لكن بتصميم راقي " بصورة غير مباشرة لعملائها بالسوق، من خلال وضع تسهيلاتها على الملصقات العصرية. نُقلت هذه الرسالة مجاناً، كما سبق ذكره، لأن المبنى، بالرغم من كونه غالي الثمن، الا انه يخدم بشكل واضح أهداف رئيسية أخرى. وبهذه الطريقة، تمت الاستفادة من الموارد المتوفرة – وهو في هذه الحالة السمعة الراقية ضمن إقليم جينزا – مما يُمكِّن الشركة من تحقيق الهدفين معا: ً الظهور الواضح و التأثير القوي لمنتجاتها الجديدة بينما تستثمر كمية محدودة من الموارد في عملية الاتصالات.

الطريقة المهمة الأخرى و التي يمكن بواسطتها أن تُستغل الموارد الموجودة هي الاعتماد المنظم على الشبكات الخبيرة المتفرِّقة(dispersed expert networks)، وهي في الغالب متصلة بواسطة الإنترنت. نحن نعلم أن العديد من الجماعات اليوم تقيم وتتواصل باستمرار بخصوص الفرص و التطويرات الجديدة. قد تُنظم مثل هذه الجماعات (مجموعات إخبارية رقمية: newsgroups) تُدار من قبل زعماء الرأي المؤثرين (لاحظ أيضاً أهمية "الويب لوق logsweb" في هذا السياق). إذا نجحت الشركة في الحصول على تقييمات داعمة في مثل هذا السياق الشبكي، فبإمكانها أن

تتوقع نفوذا ضخما و تقريباً بالمجان. على سبيل المثال، إن استخدام الناس لمحرك بحث مثل جوجل يساهم أوتوماتيكياً في هذه العملية. فمن خلال ربط صفحتهم بصفحات الويب الرئيسية فإنهم – وبصورة غير مباشرة – يغيرون ترتيب نتائج البحث، وهم ليسوا بحاجة للدفع مقابل هذه " الخدمة "! من الواضح، من ناحية أخرى أن نفس الشعبية يمكن أن تذهب أيضاً في اتجاه سلبي يؤدي إلى عواقب كارثية محتملة لأي قطاع عمل أو شركة جديدة. و هذا يثير قضية مهمة: وهي ثبات الآلية المستغلة في إطار عمل التصميم الزهيد، مما يشير إلى الأخطار المحتملة الحدوث من استغلال مثل هذه الموارد. وبالمثل فمن وجهة نظر علم الأحياء أن الحيوانات التى تحيا في البحر يمكن أن تستغل التيارات التي في المحيط بشكل زهيد – بمعنى، استهلاك الطاقة يتم بأقل ما يمكن – حتى تصل إلى نهاية مسارها، ولكن استغلال هذه التيارات قد يؤدي نسبياً إلى كوارث، كما هو الحال في الدلافين التى تصبح ملقاة على الشاطئ.

بالنسبة للمدراء والشركاء الخلاقين يعتبر هذا المبدأ جوهرياً للعمل من حيث التعرف على العمليات الداخلية و الخارجية، و آليات العمل، كما يمكن أن يُستغل الإعلام حتى يتم الاقتصاد في الموارد المحدودة، وتقييم النتائج

بدقة لاستخدام مثل هذه الآليات من أجل تقييم الشركة أو قطاعِ العمل في السوق.

هناك العديد من دراسات الحالة الفردية الجيدة و التي توضح كيف يحوَل الشركاء الخلاقون حقيقة العمل بموارد محدودة لتحقيق فائدة من خلال استغلال عمليات و آليات، موثقة في قصص نجاح فردية (مثل محرك بحث جوجل) أو في كتب قانون بناء قطاعات الأعمال و الشركات الجديدة. ومن الجدير بالذكر أنه من خلال خبرتنا ليس هناك طرق نظامية محددة لهذه الآليات.

مبدأ التكرار التبادلي

عرفنا من الرؤى الحالية للكفاءة التشغيلية – أي، التكلفة الفعالة لتنفيذ الخدمات اللوجستية، المبيعات، والتناسق، والتعلم التنظيمي، وإدارة المعرفة– أنه إذا أردنا بناء شركات قادرة على البقاء رغم الإضطرابات الرئيسية للأسواق الاقتصادية المتقلبة، فسيكون التكرار التبادلي مهماً جداً. يعد بروفسور الجامعة و المدير الذي (Ikujiro Nonaka) الاعلى إكوجيرو نوناكا من قبل "Mr. Knowledge:يُدعى بـ" سيد معرفة و (Economists Magazine) مجلة الاقتصاديين (The Knowledge - مؤلف شركة ابتكار المعرفة Creating Company) (نوناكا و تيكوشي،

أحد (Nonaka and Takeuchi ،1995م
أبرز " الزعماء الروحيين " شهرة في إدارة المعرفة. وقد أكد على أهمية التكرار التبادلي لابتكار و تطوير المعرفة الجديدة. حسب رأي نوناكا (Nonaka)، تعمل هذه المعرفة على تأسيس نفسها و تصبح مقبولة بشكل عام وذلك فقط إذا كان كثير من الناس و الشركات المتعددة يستعملون، و يقيمون، ويكيفون، وينظمون التجارب والمعرفة في العديد من النطاقات المختلفة و من خلال حل المهام المختلفة.

كما تعلمنا من سياق مبدأ التناسق الحسي الحركي، أن المجابهة الاستباقية لزبائن معينين ومعهم المستثمرين المهمين برؤى وأفكار جديدة تحفز التجاوب الضروري لتقييم و تقوية هذه الأفكار والخبرة ذات العلاقة بالشركة. وهذا يعني استثمار حقيقي للوقت و الموارد. ذكرنا أن الشركات تحتاج إلى التكرار التبادلي لتحقيق الثبات وبالتالي هناك طرق بديلة لتفعيل العمل إذا تعطل شيء ما. أثناء التسعينات، خفض التكرار التبادلي الكثير لكي تكون الشركات أكثر اعتماداً على —(التنفيذ الخارجي للمشاريع: outsourcing) و تركيزاً على (الكفاءات الرئيسية: core competences) ولقد كانت هذه هي الكلمات الرنانة في ذلك الوقت. إن إغفال هذه

الإسهابات جعل الشركات ضعيفة و مزعزعة جداً. وعلى اي حال، فقد يؤدي تخفيض التكرار التبادلي إلى وضع الشركة في مشاكل ضخمة وخلخلة كبيرة، فإذا ترك الشركة الاشخاص الرئيسيون، فإن تعطيل التكرار التبادلي سيؤدي الى مشاكل رئيسية؛ واذا تعطلت العمليات الرئيسية في المنظمة، سيكون التكرار التبادلي الشرط المسبق لاستمرار عمليات الشركة، إذا لم تعمل إحدى التطورات الجديدة الخاصة بشكل جيد، فمن المهم أن تكون هناك تطويرات موازية، وذات علاقة لسد الفجوة. يوضح مبدأ التكرار التبادلي كما قُدم في الفصل الرابع، أن هناك ما هو أكثر من مجرد التكرار التبادلي ـــــويفيدنا الى حد ما، نوع التكرار التبادلي الذي نتطلَّع اليه. مجرد المضاعفة للمهارات والذي يُعتبر شكلا واحدا فقط من التكرار التبادلي، وفي الغالب يكون ضرورياً ولكنه غير كاف للنجاح. والأكثر إثارة هو موضوع التكرار التبادلي من خلال الاشتراك الجزئي (partial overlap) في العملية الوظيفية. فوجود الموظفين الذين يمتلكون أنواع مختلفة من الخبرات المشتركة يجعل الشركة أكثر تكيفاً. وإذا تعاون موظفان و لكل منهما معرفة مختلفة، فإن معرفتهم بشكل واضح ستغطي مساحة أكبر، وهذا بالطبع شيىء ايجابي. وإذا ترك

أحدهما الشركة ستفقد بعض المعرفة؛ ولكن لوجود الاشتراك الجزئي بإمكان الشركة أن تستمر في وظيفتها. منذ الستينات ونحن نعرف من خلال هربرت سايمون مرة أخرى) و تلميذه السابق) (Herbert Simon) أن الموارد البطيئة، بمعنى (Jim March) جيم مارش الموارد التي لم تكرس لهدف معين، ضرورية لبقاء الشركات وقطاع الأعمال في أسواق ديناميكية و إبداعية؛ وهذه الموارد البطيئة ضرورية – وهي توفر التكرار التبادلي المطلوب – للتجربة والمشاركة في الأنشطة الاستكشافية (مارتش و سايمون، 1993م March and Simon).

المهمة العسيرة بالنسبة للمدراء والشركاء الخلاقين، هي تحقيق التوازن بين التصميم الزهيد و التكرار التبادلي. فمن جهة، يجب عليهم أن يبحثوا عن الموارد المتوفرة و التي يمكن أن تُستغل حتى تَحُد من استهلاك الموارد. إن التنبؤ بأن البيئة سوف تبقى كما هي سوف يسبب بوجود بناء تنظيمي هزيل. و من جهة أخرى، يجب علي المدراء و الشركاء الخلاقين أن يعرفوا أي نوع من التكرار التبادلي من الواجب أن يُقدم في الشركة، بينما يؤخذ في الحسبان الاشتراك الجزئي في العملية الوظيفية. يخلق هذا التوازن توترا واضحا في معظم

قطاع الأعمال و الشركات الجديدة. حيث أن الموارد المحدودة فقط هي المتوفرة، بينما هناك في نفس الوقت حاجة إلى التزويد بالتكرار التبادلي المطلوب لجعل الشركة متكيفة حتى يتم تطويرها و تنمية أنشطتها بحيث تؤدي إلى تواجد قطاع أعمال مستمر لفترات ممتدة من الوقت.

مبدأ القيمة

المبدأ الأخير الذي سوف نناقشه هنا هو مبدأ القيمة، وهذا المبدأ هو الذي يكون حاسماً لأي نظام ذكي، ولكنه أيضاً من الصعب فهمه أوتطبيقه في الحالات المتماسكة. كما ذكرنا طوال هذا الفصل، يواجه الشركاء الخلاقون و المدراء عدم تأكيد و غموض رئيسيين في هيئة أنواع عديدة من الاسئلة. على سبيل المثال، ماهي بالضبط البيئة المؤسساتية و الثقافية و الاقتصادية والتقنية التى يحاولون أن يحققوا فيها نجاحاتهم؟ وماهي بالضبط هياكل و أوليات الشركة التى تؤهلها من تطوير منتجاتها وخدماتها بصورة فعالة؟ وإلى أي مدى سيكون من المحتمل إطلاق قطاع العمل الجديد بنجاح بين الزبائن و المستثمرين؟

لقد عرفنا من البحث التجريبي و التجارب الشخصية أن معظم الشركاء الخلاقين و المدراء قادرون على صنع

القرارات، تقييم الفرص، تفسير التطورات فقط إذا اعتمدوا على وضوحية في القيم الأساسية التى تُوَجِّه تفكيرهم وتصرفاتهم. إذا عرفوا الهدف من قطاع عملهم لتقنية (leading - edge):((قيادة - نحو المستقبل متطورة، ومن ألفة الزبون، وقيم و اعتقادات خلقية، واهتمامات بالبيئة، وغيره)، وعرفوا ما هو المهم حقاً لهم (النجاح المالي، و المشاريع المثيرة، والناس الأذكياء، وغيره)، فغالباً ما يتضح تماماً لهم ما إذا كان هناك تطويراً معيناً أو فرصة جديدة لها أي صلة بهم. ولقد عرفنا من تقليد طويل في البحث كم هو مهم منظور القيمة المتعلق بالثقافة و الهوية.

وهذا يقتضي أيضاً أنه ليس هناك شيء عالمي، في مرجعيته لهيكل قيم يمكن ان يطبق لجميع الشركات و قطاع الأعمال. للنجاح المالي معنىً مختلف تماماً لمشروع شركة مالية، أو شركة تمتلكها عائلة، أو الشركة التجارية الشعبية، أو شركة ممتلكة بشكل منفرد؛ تتخذ التقانة ذات العلاقة معاني مختلفة تماماً بالنسبة لشركة تتوجه نحو التقانة الإبداعية، وشركة تركز على الحلول البرمجية و المنتجات المؤسسية في السوق؛ و كذلك فإن القضايا الاجتماعية الحضارية والثقافية لها تأثيرا مختلفا على الشركات بناءً على توجه الشركات

الأيديولوجي. تكون مهمة المدراء والشركاء الخلاقين، بعد ذلك هي تهيئة و تعريف مجموعة من القيم التي يمكن تطبيقها بصورة منفصلة عن أي تطوير للشركة و قطاع عملها، و كذلك لتعريف التضمينات المهمة لتلك القيم.

نظام القيمة، كما قُدم في الفصل الرابع، مسؤول عن إخبار النظام عماهو نافع له. بالنسبة للأنظمة البيولوجية، القيمة ــــ على الأقل القيمة الأساسية ــــ ذات علاقة بوحدات قياس فسيولوجية مثل مستوى السكر في الدم، أومستوى الجفاف، أو محتوى الأوكسجين، اوأي سلوكيات تحفظ هذه الوحدات القياسية ضمن نطاقات مقبولة تُعتُبر نافعة. بهذا المعنى، تكون القيمة موضوعية. ومع ذلك، من الصعب بالنسبة للشركة أن تعرف بموضوعية فسيولوجية الشركة بالتساوي، ولكن هناك دائما قدر معين من العشوائية في نظم القيمة للشركات. رغم ذلك، تظل هناك بعض القيم الأساسية جداً، و " الفسيولوجية " تقريباً، وتُعرف بالأساس المالي الذي يجب أن يكون صحيحا و الذي تشترك فيه الشركة فقط في الممارسات القانونية. ان ما وراء هذه القيم الواضحة، يعود أمره إلى كل شركة بمفردها ان تقرر أي من القيم يكون مفيداً لها وأيها غير مفيد.

صحة التكهنات

نأمل أن نكون قد استطعنا ان نبرهن أن النظرية العامة و مبادئ التصميم للأنظمة الذكية تفرز مفاهيم و نتائج مثيرة إذا تم تطبيقها في مجال ابتكار قطاع الأعمال. على الرغم من إعتقادنا بأننا قد خطونا خطوات واسعة عظيمة نحو فهم أفضل لـ " مبادئ التصميم " الخاصة بالشركات، فإن البرهان الأخير سيكمن، بالطبع، في تطبيق المبادئ في بناء الشركات الفعلي، والشركات الفيزيائية في العالم الحقيقي. حقاً، هذه هي الفكرة التي يخطط مؤلفو هذا الفصل متابعتها في المستقبل القريب، حتى يُخضعوا هذه الأفكار لاختبار قاس. الوضع المثير الآخر هو التجاوب الذي سيُولد إذا شعر بعض القراء أنهم ألهموا بهذه الأفكار وطبقوها في بيئتهم الادارية و شركاتهم الخلاقة أثناء تطوير قطاع أعمال جديد، أومنتجات، أو شركات، أو تقانات جديدة. و طبعاً، كما نتعامل مع العالم الحقيقي حيث البشر، الأسواق، وكميات ضخمة من الأموال فإن إمكانيات التجربة المجانية ستكون محدودة مقارنة بالتجربة مع الروبوتات والمحاكاة. أيضاً استهداف النتائج التجريبية القابلة للتكرار لم يعد هدفا، حيث يتوجب علينا تطبيق معايير أكثر واقعية متعلقة بنجاح الشركات وحيث يطبق الشركاء الخلاقون هذه المبادئ. أخيراً و ليس آخراً، هذه المعايير

يجب ان تُقيم فيما يتعلق بالسؤال عن ماذا تعلمنا وماهي الأسئلة الجديدة التي تولدها النتائج.

خلاصة وخاتمة 9.5

إحدى الرؤى الرئيسية من هذا التطبيق لمبادئ التصميم لقطاع الأعمال من جهات عديدة هي البيئات – البيئة المحيطة المخصصة – للشركات و الأنظمة المجسدة الذكية المتشابهه جداً واللتان تشتركان في مميزات عديدة، و لكنهما بشكل خاص يتمتعا بدرجة عالية من عدم التأكيد و صعوبة التنبؤ. معطى هذه الخلفية هو أنْ الأمر يبدو واعداً لتحويل مبادئ التصميم التي طُورت من أجل الأنظمة الذكية إلى السياق الاقتصادي، وخصوصاً في تصميم الشركة. وبسبب هذا التشابه، فإن بعض المواضيع التى أُثيرت من خلال مبادئ التصميم تم اخذها في الاعتبار. أما البعض الآخر، في جزء من بعض المراجع المنشورة والأكثر حداثة عن الإدارة، مثل إطار المرجعية في السلوك المحاكي أو توليد المعلومات الاستباقية (proactive generation of information)، لايزالا مهملين بشكل كبير حتى الآن. الميزة المهمة لمبادئ التصميم أنها تكوِّن مجموعة متكاملة و شاملة، وهذا شيء حتى الان مفقود في المراجع الإدارية المنشورة.

الفصلالعاشر

أين ذاكرة الإنسان ؟

في صباح ضبابي بارد في ديسمبر من عام 2004 م، وخلال اجتماع الأنظمة الديناميكية الأسبوعي في مختبر الذكاء الاصطناعي لجامعة زيورخ، قدم الفيزيائي النظري الشاب الرائع ومهندس الروبوتية سايمون بوفيت (Simon Bovet) عرضاً لأحد روبوتاته حول ما يسمى بـ "البناء الإدراكي الادنى cognitive: architecture minimal". وكروبوت استخدم الفأر الاصطناعي، الذي تحدثنا عنه في الفصل الرابع. و قد كان العنوان المثير لعرضه هو " التعلم اللاحق بالمكافأة بدون ذاكرة: Delayed Reward Learning without Memory". يشير التعلم اللاحق بالمكافأة إلى حالات يجب أن يتخذ فيها الكائن – الحيوان أو الروبوت – قراراً معيناً، كأن ينعطف لليمين أو لليسار في متاهة، ولكن سواء أكان تقييم القرار صحيحاً ام خاطئاً فلايمكن معرفة ذلك سوى لاحقاً، وذلك عندما تُعطى أو لا تُعطى المكافأة (يجد الفأر الكعكة في المتاهة أو لا يجدها). حقاً لقد كان عمل بوفيت سابقة مثيرة: الصعوبة بالنسبة للكائن في التعلم اللاحق

بالمكافأة هو أن يميز في أي نقطة قد تم اتخاذ القرار الصحيح أو القرار الخاطئ، وهي مشكلة تسمى في بعض الأحيان: credit assignment) (تعيين الثقة أو بمشكلة: blame assignment). (تعيين اللوم ولكي تحل هذه المشكلة، يجب أن يتذكر الفأر (أو الروبوت) قراراته – يجب الا يكون هناك شك فيه على الإطلاق. لذا، يتطلب التعلم اللاحق بالمكافأة ذاكرة. أليس كذلك ؟.

تعمل تجربة بوفيت كالتالي: جُهز الفأر الاصطناعي بشوارب لللمس (استشعار اللمس)، وبكاميرا للابصار، و " استشعار المكافأة" الخاص لكشف المكافأة. تكمن مهمة الفأر الاصطناعي في تعلم كيفية إيجاد المكافأة – الكعكة الالكترونية، والتي ببساطة تكون فيها هذه الحالة إشارة ذات ،(T - maze: إلكترونية – فيما يسمى (متاهة- ت موضوعة "T" التنظيم البسيط جداً للممرَّات على شكل على الطاولة. عندما يدخل الفأر متاهة- ت عن طريق تكون المشكلة ،("T: الممر الرئيسي (القاعدة لـ " ت بالنسبة للروبوت هي هل ينعطف يميناً أو يساراً عندما يصل إلى نقطة التقاطع؛ حيث أن المكافأة موجودة اما في نهاية الذراع الأيمن أو الذراع الايسر. حيث أن في إحدى زوايا أركان التقاطع، توجد (عصا عمودية) يمكن

اكتشافها عند لمسها بجديلة الشوارب. إذا تحركت جدلية اللمس للجانب الأيسر فإن المكافأة سوف تكون دائماً في نهاية الذراع اليسرى من المتاهة- ت، و إذا لمست الجديلة الجانب الأيمن فإن المكافأة سوف تكون في نهاية الذراع اليمنى. و لكن الروبوت لا يعرف هذا، من ناحية أخرى، وإلا فقد تكون المهمة تافهة ولا يكون هناك تعلم لأي شيء. أيضاً، تم تلوين داخل الحائط للجانب الأفقي باللون الأحمر، وهكذا عندما يدخل T على طول الممر فسيواجهه الحائط الأحمر. أثناء T الروبوت المتاهة التجربة، فإن موقع جديلة اللمس، يكون مرافقاً للمكافأة، ويتغيرعشوائياً من اليسار إلى اليمين، وفي كل مرة يُعطى الروبوت فرصة لإيجاد المكافأة.

إن ما حدث في التجربة هو أنه بعد عدد من المحاولات، وأثناء التغيير العشوائي لجديلة اللمس و المكافأة يبدأ الروبوت باتخاذ الاختيارات الصحيحة بثبات: فعندما تتحرك جديلة اللمس على اليسار ينعطف يساراً والعكس صحيح.

كيف يحدث ذلك؟ لكي يتمكن الروبوت من تعلم هذه المهمة، نتوقع أنه سيُبْقِي على ذاكرة للقرارات التي اتخذها، بحيث أنه عندما يصل إلى المكافأة فإنه "يعرف" إذا ما كانت جديلة اللمس على اليسار أو على اليمين، و

كذلك إن كان ينعطف يساراً أو يميناً. يمكنه بعد ذلك أن يستخدم هذه الذاكرة، معاً مع وجود أو غياب المكافأة، و أن يُحَدِّث الروابط في الشبكة العصبية ـــ " دماغه" ـــ على نحو ملائم بحيث انه في المرة القادمة تكون لديه فرصة أفضل للانعطاف في الاتجاه الصحيح. ومع ذلك فليس هذا ما يحدث ـ نتيجة أذهلت الجمهور في الحلقة الدراسية لبوفيت: إذا لم تكن هناك ذاكرة للقرارات و الحالات التي اتخذت، فكيف استطاع الروبوت أن يتعلم بنجاح اتخاذ القرارات الصحيحة؟ وكيف يكون ذلك ممكناً ؟ الإجابة هي أن الروبوت يعمل لأن " وظيفة الذاكرة" التفريغ في البيئة، وهذا يُدعم بشكل خاص، من خلال، التصميم الهندسي البسيط جداً للشبكة العصبية.

دعونا أولاً ننظر بإيجاز إلى هذا التصميم الهندسي.
لكل حاسة استشعارية، هناك مجموعة واحدة من " الخلايا العصبية " (العُقَد) تمثل حالة الاستشعار، وأخرى تمثل التغيير في نفس الاستشعار. على سبيل المثال تمثل الكاميرا مجموعة واحدة من الخلايا العصبية لقيم الشدة واللون لنقاط وضوحية شاشة الكاميرا، بينما تشير مجموعة أخرى إلى التغيير في هذه القيم. وهذا مشابهة للشوارب ـ نظام اللمس ـ اذ ان هناك خلايا عصبية لكشف اللمس والتغيير في اللمس (من عدم اللمس إلى

اللمس، و العكس بالعكس). هناك أيضاً خلية عصبية لاستشعار المكافأة. في النظام الحركي هناك خلايا عصبية للاتجاه ولتغيير الاتجاه. كل هذه المجموعات من الخلايا العصبية رُبطت بالتبادل مع بعضها البعض بواسطة التشابكات العصبية. هناك آلية تعلم هيبيان ((Hebbian البسيطة و التي تعزز جميع الروابط النشطة بين الخلايا العصبية في وقت واحد. اذا هي، بعبارة أخرى، تلتقط الارتباطات الفورية، بمعنى الارتباطات بين الإشارات الحسية والحركية في حالة معينة بزمن محدد، أو الارتباطات بين الاستشعار االحسية المختلفة. سنركز على هذه النقطة، لأن الأحداث فقط (الاستشعارات و المحركات التى تحفز) والتى تحدث في ذات الوقت يمكن تكوين علاقة بينها بهذه الطريقة؛ وليس من الممكن أن تكون علاقة لحدث حالي مع حدث في الماضي.

واليكم تقريب لما يحدث: في البداية، تُثار (خلايا الأعصاب التي ستُكافأ: reward neurons) بواسطة القائم على التجربة، مع محاكاة فكرة أن الفأر الاصطناعي " يريد " أن يحصل على المكافأة. وطالما ان (روابط تشابكات الخلايا العصبية: synaptic connections) ضعيفة – ولم تشكل (علاقات اتصال: associations) – فلن يكون هناك أي تأثير

من هذه الإثارة أو التحفيز على سلوك الروبوت. إذا دخل الفأر الآن متاهة- ت و تحرك نحو نقطة الالتقاء، سيشعر من خلال جديلة الشوارب سواء كان على جانبه الأيمن أو جانبه الأيسر، وينعطف في الاتجاه العشوائي بشكل مبدئي. من خلال آلية تعلم هيبيان (Hebbian)، تصبح علاقات الخلايا العصبية لللمس، والخلايا العصبية للحركة، و الخلايا العصبية للابصار (التي ستتبع الحائط الأحمر) مرتبطة بشكل أقرب، بمعنى، تزداد قوة الروابط التي بينها. على افتراض ذلك، بالمصادفة، أن القرار تم تصحيحه، فإن الروبوت سيتتبع المكافأة وحيث أنه سيرى في نفس الوقت الحائط الأحمر على جانب واحد في مجاله البصري (مثلاً على الجانب الأيمن)، ستتزامن رؤية " الحائط الأحمر على الجانب الأيمن " مع " المكافأة ". و بصورة غير مباشرة بعد ذلك، فإن المعلومات عن انعطاف الروبوت التى تم أخذها في المرة السابقة يتم تضُمينها في الحالة الراهنة، بعبارة أخرى، يتم تتبع الحائط الأحمر على الجانب الأيمن و يقتضي ذلك أن الروبوت قد انعطف يساراً من قبل. في المحاولة التالية، بافتراض نفس ترتيب جديلة الشوارب و المكافأة، فإن استشعارات المكافأة – بسبب ما سبق تعلمه (علاقة ربط المكافأة مع الحائط الأحمر على اليمين) – سوف تزود

سلفاً ببعض النشاط في أحد جانبي المجال البصري (الحائط الأحمر على اليمين)، والذي بدوره تكون علاقة ارتباطه تباعاً لاتجاه الانعطاف الملائم (الانعطاف يساراً). المطلوب وحتى يعمل هذا الإجراء لابد أن يحدث نفس الترتيب للمحاولتين المتكررتين (وسوف يحدث ذلك دائماً إذا انتظرنا طويلاً بمافيه الكفاية). (يعرض هذا التوصيف الأفكار الرئيسية من التجربة، ولكن التصميم الحقيقي و ديناميكية الشبكة هما الأكثر تعقيداً؛ بإمكان القارئ المهتم النظر في مرجع بوفيه وفايفر، 2005 م Bovet and Pfeifer). لذلك، في الواقع، يؤدي الروبوت التعلم بالمكافأة المتأخرة دون ذاكرة واضحة للأحداث ذات العلاقة و القرارات المتخذة!.

رأينا إذا أن الفأر الاصطناعي يستغل بطريقة ما التفاعل مع بيئته، في هذه الحالة الحائط الأحمر، لإنجاز المهمة. من المهم ملاحظة أن هذا يعمل بالرغم من حقيقة أن الحائط الأحمر يعتبر محايداً بشكل كامل فيما يتعلق بالمهمة، بمعنى أنه لا يزود بأي معلومات مؤكدة مطلقاً عن موقع المكافأة. طبعاً، من المعقول جدا أن تُزَوَّد الروبوت بشيء مثل الذاكرة، ولكن مرة أخرى، فهذه تتعلق بمسألة الإطار المرجعي: لان الذاكرة تزود الروبوت من خلال المراقب الخارجي؛ حيث لا يوجد

صندوق أو تمثيل واضح في النظام يوفر وظيفة الذاكرة (راجع المناقشة الاخيرة لمفهوم روس آشبي (Ross Ashby) عن الذاكرة في نهاية هذا الفصل) بالطبع، "تاريخ" الروبوت يُمَثَّل جزئيا في الشبكة العصبية لأنه بإستخدام آلية تَعلُّم هيبيان يتم تغيير قوة روابط تشابكات الخلايا العصبية. ولكن لا توجد هناك ذاكرة واضحة في "دماغ" الروبوت عن القرارات التي إتَّخذها في الماضي.

في هذا الفصل، سنبدأ بمقدمة عن الذاكرة. ثم سنعرض التشبيه المسمى "المخزن"، الذي يمثل الذاكرة كمكان تخزن فيه "الاشياء"، وسنناقش بعض مشاكل وجهة النظر هذه. بعد ذلك سنقدم عرضا لمفاهيم الذاكرة المختلفة المستخدمة في المراجع المنشورة. ثم سنقدم منظور آشبي للذاكرة، والذي سيخدمنا كأساس في أي نقاش عن الذاكرة والتعلم. سنتبع ذلك بأمثلة عن التطورات البحثية في الذاكرة الانسانية، وسنطبق عليها مبادىء تصميمنا كما فعلنا في الفصول السابقة. وسنرى أن منظور التجسيد غالبا يقود الى رؤى جديدة قد تغير مفاهيمنا عن الذاكرة. وأخيرا، سوف نناقش بعض نتائج أبحاث الذاكرة على وجه الخصوص وأبحاث الإدراك على وجه العموم.

10.1 مقدمة

خلال قراءتنا لهذا الكتاب تم التطرق الى الذاكرة، ومن الصعب حقاً أن نتخيل كائناً ذكياً من دون ذاكرة. بالإضافة إلى ذلك، يعتبر التعليم مقدرة جوهرية في الأنظمة الذكية، كما أن التعلم ذو ارتباط مباشر بالذاكرة. وتعد الذاكرة الإنسانية مستوى عال للوظيفة الإدراكية، وهي ذات ارتباط مباشر بالعديد من القدرات مثل اللغة الطبيعية، ومهام مثل محاولة خبير ما لحل مشكلة صعبة، وطالب في قاعة الاختبار، وجدّ يسرد قصة لأحفاده، ومراهق يتعرف على مقطوعة موسيقية، وطفل ينشد قصيدة من ذاكرته، ونادل في مطعم ما يأخذ الطلبات، وسائق تاكسي يستدل على الطريق لوجهة زبونه، وغير ذلك، و جميع هذه المهام تتطلب استخدام الذاكرة بطريقة أو بأخرى. إن الهدف من هذا الفصل في كتابنا هو إستعراض أن الذاكرة لا يمكن أن تكون وِحْدة مجردة خالصة في العقل البشري؛ ولكن التجسيد لابد من أخذه في كل اعتباراتنا.

كما ذكرنا سابقاً فإن علم النفس، هو المجال الذي يتعامل مع أكثر الأنظمة تعقيداً، الإنسان، وقد تمت تجزئته الى حقول فرعية مثل الإدراك، اللغة، حل المشكلات، التعلم، الذاكرة، التطور، العاطفة والسلوك الاجتماعي. ونحن نقترح أن هذه المجالات الفرعية ليست بذات أهمية في البحث عن الوحدة الأساسية المكونة للعقل المسئولة

عن السلوكيات الناتجة، ولكنها تشكل طرق مختلفة لتصور الكائن المتكامل ذو قدرات سلوكية: تعتبر الذاكرة مفهوم مهم وحساس في النظام الفيزيائي ل (الإنسان الخاضع للتجربة: human subject). على سبيل المثال، يتعرض الإنسان في فلسفة الإدراك بصورة منهجية منتظمة لمحفزات، مثل وجوه مألوفة أو غير مألوفة تحت ظروف مختلفة: (منظر أمامي، خلفي، جانبي، تحت الضوء، وفي الظلام) وبناءً على تعرُّف الانسان على الوجه كأن يكون مألوفاً ام لا، يُطلَب منهم تأدية سلوك معين، مثل ضغط زر على لوحة مفاتيح. إن الطرق التجريبية في (علم النفس العاطفي: psychology of emotion) متشابهة، ما عدا في طبيعة المحفِّز والاستجابات المتوقعة. قد يعرض شخص قصة تثير حالات عاطفية حزينة أو سعيدة في الإنسان، أو قد يعرض مشهد جنسي مثير، ومن ثم تُقاس المتغيرات النفسية مثل مستوى الادرينالين (adrenaline)، ومقاومة الجلد، ومعدل نبضات القلب، وضغط الدم. وبالمقابل، فإن حالة عاطفية معينة قد تستثار ويتطلب ذلك من الشخص الخاضع للتجربة المبادرة بحل المشكلة وبعدها يجري الخبير تقديرا وتقييما لجودة الحل. وفي البحوث التي تتناول الذاكرة،

فإن التدابير والترتيبات التجريبية الأساسية متشابهة، ولكن أيضاً، فإن المحتوى للمحفِّز والاستجابات المتطلبة مختلفين. إن المواد عبارة عن قائمة من الكلمات التى لابد من تذكرها وبعدها تسرد لاحقاً، أو عبارة عن قصص ومواد يقرؤها الأشخاص الخاضعون للتجربة ومن ثم يتم اختبار مدى تذكرهم للحبكة أو لتفاصيل دقيقة معينة. وبالاعتماد على وجهة نظر المجال البحثي — مثل الإدراك، العاطفة، الذاكرة — فإن النماذج لهذه الوظائف تُقترح. بالنسبة للذاكرة، فإن أبرز ما تم بحثه هو storehouse :(استعارة مستودع التخزين metaphor) (للمراجعة انظر كوريات وجولد سميث، Koriat and Goldsmith) ،1996م واللذان يقترحان أن الذكريات مخزنة في مناطق محددة مما يُمكِّن من استرجاعها لاحقاً.

إن ما ذكر سابقاً لا لبس فيه، ولكن أين تكمن المشكلة؟ أو هل هناك بالفعل مشكلة؟ حسناَ، في الحقيقة هناك عدد من النقاط، وسنذكرها باختصار في الآتي. أولاً، فشلت استعارة مستودع التخزين في شرح العديد من الظواهر المهمة المتعلقة بالذاكرة. ثانياً، إن عددا كبير من أنواع الذاكرات المختلفة تم وصفها في كثير من المراجع المنشورة، مما يؤدي إلى طرح تساؤل ألا وهو

كيف لهذه الأنواع المتعددة من الذاكرة أن تختلف وهل يوجد هناك أي مبدأ موحَّد يمكن أن يجمعها. ثالثاً، في العديد من التقارير الخارجية لا يمكن التمييز بين ملاحظة السلوك والآليات الجامعة لها. رابعاً، على الرغم من الزيادة السريعة في الاهتمام بالتجسيد، لا تزال الذاكرة توصف على أنها وحدة مجردة معزولة عن الجسد.

إن المراجع المنشورة عن الذاكرة في علم النفس وعلم الأعصاب كثيرة وغنية، ومن غير المنصف تغطية البحوث البارزة في هذا المجال فقط في هذا الفصل القصير من الكتاب. ما سنقوم به هو، بدلا من عرض وجهات النظر المبتكرة عن الذاكرة ـــ منظور التجسيد ـــ والذي لم يتم تبنيه بصورة منظَّمة في هذا المجال، على الرغم من أن أفكار التجسيد تنال اهتماما وقبولاً متسارعاً.

وقبل أن نسترسل في حديثنا، فإن نبذة عن المصطلحات قد تكون ضرورية لأن كلمة " ذاكرة " قد تعني شيئين مختلفين، الأول، هو "الشيء" الذي يتم تذكره، مثل ذكرى عشاء رائع في منزل صديقة أو ذكرى رائحة السمك في مرفأ صغير في ميناء أو كي ناوا (Okinawa)، أو ذكر مذاق الطعام الأسترالي الممتازشاردوني (Chardonnay)، أو ذكرى لموقف

شديد الحرج. أما المعنى الآخر فإنه أكثر تجريداً ونظرياً؛ هي تلك العمليات المسئولة:" vehicle :"واسطة النقل عن التغير في السلوك. وهذا المعنى الأخير مستخدم كعنوان كتاب مدرسي لهذا الموضوع، مثل كتاب " الذاكرة البشرية " لنيث وسوربرونانت (Neath and Surprenant)، عام 2003 م، وكما في هذا الفصل.

10.2 استعارة مستودع التخزين ومشكلاته

إذا نظرناإلى الإدراك مثل نظرتنا للعمليات الحاسوبية، كما هو في المنظور التقليدي، فإن استعارة التشبيه بمستودع التخزين تأتي بصورة طبيعيةً، وبهذه النظرة، هناك معطيات مدخلة محددة وهي بطريقة ما تُعالج، وتُمثَّل، وتُخزَّن في نوع ما من الذاكرة، بحيث يمكن استردادها لاحقاً عند الحاجة في وقت ما. لكن التشبيه بالحاسوب، كما هو مفترض في النموذج الإدراكي، يعتبر مضللاً، لأن هناك مواقع تخزين حقيقية في الحاسوب، وبيانات يتم إدخالها، وتُخزَّن، ولاحقاً تسترجع؛ بينما تكون الآلية مختلفة تماماً في العقل البشري. إن عالم الحاسوب لدى ناسا وصاحب الكتاب المؤثر " التعلم الذاتي من البيئة للإدراك: Situated Cognition" بيل كلانسي (Bill Clancey) الذي سمى هذا المنظور " الذاكرة كهيكل مخزن (أو تمثيلات):

memory as stored structures (or represenrations) " (1997م ،كلانسي، Clancey). وعلى كل حال، هناك العديد من الظواهر المألوفة والتي يصعب تفسيرها من خلال هذه الفكرة، ولمزيد من التفاصيل لهذا المنظور يمكن مراجعة الفصل الخامس عشر من فايفر وشير (Pfeifer and Scheier) (1999م). ولنأخذ مثالاً، عند الاستماع:لنغمة غير مألوفة لمقطوعة موسيقية معينة، يمكننا التعرف على الصوت سريعاً حتى وإن كانت تلك الأصوات المحددة ــــ صادرة من آلالات مختلفة، نوتة معينة، إيقاع مختلف ـــــجديده بالنسبة لنا.

فلنأخذ السؤال من الإسرائيلي روزين - فيلد (Rosenfield) في كتابه الاستفزازي " ابتكار الذاكرة: The Invention of Memory ": عندما نتحدث عن صورة عقلية مخزنة لصديق، فأي صورة أو صور نتكلم عنها؟ وماذا يفعل هذا الصديق؟ متى ؟ أين ؟) " (1988م، صفحة 163). هل سنختار صورته المخزنة منذ أسبوع أم منذ سنتين ماضيتين ؟ بقبعة أو بدون ؟ حليق اللحية أم طويل اللحية ؟ قصير شعر الرأس، بنظارات شمسية، بملابس مختلفة، في ضوء الشمس الساطع أم في الظل.... إلخ ؟ ولنأخذ كرة التنس. كيف

يمكن لنا أن نفسر ذلك من خلال مبدأ الهياكل المخزنة في الذاكرة (conception stored - structures)، حقيقة أن كل ضربة لكرة التنس هي مختلفة عن سابقاتها، بمعنى آخر كل ضربة تعتبر فريدة من نوعها؟

مع أخذ الرميات أو الضربات بعين الاعتبار في أي لعبة مهارة، قد تروقنا فكرة أننا نكرر سلسلة من الحركات التي تعلمناها منذ زمن طويل من خلال كتاب أو مدرب. ولكن علم الحركة يظهر أننا في الحقيقة نبني رمياتنا مجدداً على أساس توازن وضعية الجسم للرميات السابقة وعلى حسب ما تحتاجه اللعبة، كل رمية نقوم بها لها ميزاتها خاصة .

هذه الفقرة، والتي تمتاز بطابع حداثي مأخوذ عن عالم النفس البارز إف.سي. بارتلت (F. C. Bartlett) وتحديداً في كتابه المشهور " التذكر: Remembering "، المطبوع في النصف الأول من القرن الماضي (بارتلت، 1932م ،Bartlett). يذكرنا هذا الكتاب بمبدأ التوازن البيئي، والذي يكون فيه جزء من المهمة الإفراغ في البنية والتفاعل مع البيئة. هذا الإفراغ بالإضافة إلى كونه اقتصادي ــــ حيث يحتاج الى تخزين القليل من المعلومات فقط في العقل ــــ يجعل النظام في حد ذاته متكيفا ومستجيبا لكل احتياجات

الموقف (سنناقش هذه النقطة لاحقاً). وأخيراً وبشكل عام، فإن التشبيه بمستودع التخزين يتضمن كل مشكلات النموذج الإدراكي التقليدي، مثل مشكلة ترسيخ الرمز: فإذا كانت الذاكرة تقوم بعملية التخزين في وحدات منفصلة ومعزولة في العقل (مثل الرموز)، فأين تكون مخزنة؟ وكيف يمكن ربطها بالأحداث الأصلية المُتذَكَّرة؟ وهل هناك ذاكرة مخصصة منفصلة لكل حدث يتم تذكره أو هناك عدة ذاكرات؟ وكيف ترتبط الذكريات مع بعضها البعض؟

والخلاصة، أن هناك العديد من المشكلات في تشبيه المخزن وهناك حاجة الى منظور بديل. وعند الاصطدام بهذه الأسئلة، وحتى معظم الباحثين المتعصبين لن يصادقوا على ما أظن على النظرة المحدودة لتشبيه الذاكرة بمستودع التخزين. إلا أن كوريات وجولد سميث في مقالهما المهم عن (Goldsmith andKoriat) تشبيهات الذاكرة (memory metaphors)، وضَّحا أن " على الرغم من أنه قد لا يوجد محقق في هذه الأيام يصادق على مثل هذه النظرة المتطرفة، إلا أنه من المهم المواجهة مع هذا المنطق الضمني، والذي ما زال متفشياً في البحث المعاصر في التفكير عن الذاكرة" (ص169، 1996). وبتعبير آخر، فعلى الرغم من أن معظم الباحثين

قد يرفضون هذا التشيه الصارم بمستودع التخزين، فما زال، هناك افتراضٌ ضمنيً أن " الذاكرة كهياكل مخزنة: memory as stored structures " وهذا الجدل لا يزال قائماً إلى يومنا الحالي.

10.3 مفاهيم عن الذاكرة

إذا طالعنا المراجع المنشورة عن الذاكرة الإنسانية فإننا سندرك فوراً بأن الذاكرة ليست عبارة عن مفهوم موحد بسيط. فالذاكرة بالمقابل، ظاهرة معقدة ومتعددة الأوجه وتمثيلها يعتمد على النماذج والتوجه البحثي واهتمامات الكاتب. ومن الممكن ألا تكون الذاكرة بحد ذاتها ظاهرة، ولكن قد تكون عبارة عن عدة ظواهر لابد من احتساب احتياجها، وقد طُورت من أجلها النماذج التجريبية العديدة. ولتفسير هذا العدد الهائل من الظواهر، تم تقديم مفاهيم مختلفة ومتعددة عن الذاكرة. فعلى سبيل المثال، في التجارب التقليدية المعمول بها في (تعليم القائمة: list learning)، حيث يتم تمثيل المواضيع التى يتم تعليمها في قائمة، مكونة من مثلاً عشرة، عشرين أو ثلاثين كلمة، وقد إتضح أن هناك توجه نحو تذكر الوحدات الموجودة في نهاية القائمة بشكل جيدً اذا تم اجراء الاختبار مباشرة بعد التجربة. هذه ظاهرة تسمى (تأثير الحداثة: recency effect). وعلى كل حال،

بعد تأجيل بسيط للاختبار، خلال مثلاً حوالي خمسة عشر أو ثلاثين ثانية، فإن تأثير الحداثة هذه قد يختفي، بينما يتأثر الأداء في الوحدات السابقة الموجودة في القائمة نسبياً بالتأجيل (باديلي، 1997م Baddeley).

وهكذا، يكون من الطبيعي أن نسلِّم جدلاً أن هناك نوعين مختلفين من الذاكرة نطلق عليها: ذاكرة قصيرة المدى أوكما تختصر (STM)، وذاكرة طويلة المدى أو كما تختصر (LTM). وقد نال هذا التقسيم تفصيلاً واسعاً على مدى عقود في بحوث الذاكرة. تميل الذاكرة قصيرة المدى إلى تفسير حقيقة أن الوحدات المسجلة في آخر القائمة يسهل تذكرها سريعاً بعد استعراض القائمة. إن مقياس الوقت أو مدة الاحتفاظ في الذاكرة قصيرة المدى متدرجة من الثواني حتى الدقائق، بينما في الذاكرة طويلة المدى فهي تتدرج من الدقائق إلى الساعات إلى السنوات، حتى تصل إلى مدى الحياة.

وهناك إثبات آخر على تقسيم الذاكرة إلى نوعين قصيرة المدى و طويلة المدى نتج من الدراسات التي اجريت على مرضى تلف الدماغ. إتش. إم. (H. M.) مريض أزيلت منه كمية كبيرة من أنسجة الدماغ وذلك للتعامل مع مرض الصرع عام 1966م " على الرغم من أن إتش. إم كان قادراً على تذكر أحداث من الماضي، إلا

أن قدرته على اكتساب معلومات جديدة قد ضعفت بصورة هائلة، حيث أنه لم يكن قادراً على التعرف على أشخاص جدد أو على الربط بين الأحداث الجديدة، ثم كان مراراً وتكراراً ما يقرأ ذات المجلة ما ولكنها تبدو لديه غير مألوفة. وعلى الرغم من هذا الضرر المأساوي في قدرته على استيعاب معلومات جديدة إلا أن مدى ذاكرته اللحظية كان طبيعياً نوعاً ما " (باديلي، 1997م، ص42). وهذا يدل على وجود خلل في الذاكرة طويلة المدى وأن الذاكرة قصيرة المدى طبيعية. على الرغم من وجود إثباتات قوية على هذا التقسيم للذاكرة وللدور الذي يلعبه كل قسم، وخاصة لدور الذاكرة قصيرة المدى في الإدراك، مال زال الجدل متسع حول هذا الموضوع. لقد قدم عالما النفس المعرفي البارزين (أتكينسون وشيفرين، عام1968 م، Atkinson and Shiffrin) حججاً على عمل الذاكرة قصيرة المدى كذاكرة فعالة، كما قام الباحث آلن باديلي، صاحب الكتاب المعروف، ذاكرة الإنسان(Human Memory) 1997م، و مجموعة من تلاميذه بتقديم حجج على (هيكل متعدد العناصر: multicomponent structure) أكثر تعقيداً مع برنامج نظام التحكم المركزي التنفيذي وعدد من البرمجيات الثانوية الفعالة والمرتبطة بحاستي السمع

والبصر. وعلى الرغم من أن باديلي نبه بكل وضوح إلى أن تشبيه الذاكرة الإنسانية بالحاسوب قد يكون مضللاً، وذلك لأن وظائف الذاكرة الإنسانية تختلف تماماً عن الحاسوب، وأن المصطلح المستخدم يدل على المعالجة الحاسوبية، فقداقترح منظوراً إدراكياً.

فيما سبق، تناولنا مصطلح الذاكرة قصيرة المدى والتي (تسمى أيضاً الذاكرة الأولية)، وكذلك الذاكرة طويلة المدى والتي (تسمى الذاكرة الثانوية)، والذاكرة النشطة (working memory). وهذه المصطلحات تحدد مظاهر من نظام الذاكرة الإنسانية المعقدة، وقد ظهرت العديد من أنواع الذاكرة لاحقاً مثل: الذاكرة البصرية والصوتية، وذاكرة التدرج الزمني المختلف (المخازن الاستشعارية الصغيرة المؤقتة (sensory buffers) لكل مخزن مدى قصير (short - term storage)، ومدى قصير (short - term)، و ذاكرة مدى طويل (long - term memory). وهناك تقسيمات مماثلة تنطبق في بعض الاحيان على الكثير من الطرق الحسِّية مثل اللمس عن بُعد، الشم، التذوق، ولكنها نادراً ما تُنَاقش في الكتب الدراسية. وضمن الذاكرة طويلة المدى هناك تقسيمات إضافية مثل (الذاكرة الفصلية: episodic memory) للتجارب)

الشخصية)، (الذاكرة الدلالية: semantic memory) للمعرفة العامة)، (الذاكرة الفرضية: propositional memory) وهي مشابهة للذاكرة الدلالية وتهتم بالحقائق، والأشياء، والأشخاص)، (ذاكرة السيرة الذاتية: autobiographical memory) وفيها تشكل ذكريات شخصية الفرد)، (الذاكرة الخاطفة: flashbulb memory) متخصصة في الذكريات الحيوية، وعادة تنتج عن الحالات المشحونة بالعاطفة)، (الذاكرة الرقابية: prospective memory) تهتم بزمن مايجب تذكره من أحداث، مثل الملاحظات العقلية)، (الذاكرة الأسترجاعية: retrospective memory) وتهتم بما يجب تذكره)، (الذاكرة الإجرائية: procedural memory) لمعرفة كيفية حدوث الأشياء، برمجيات لكيفية إنجاز المهام) ذاكرة المهارات الحسية الحركية (skills memory for sensory - motor) مثل مهارات قيادة السيارة، لعب التنس،) الشعوذة وهي مرتبطة بالذاكرة الإجرائية)، (الذاكرة الصريحة: declarative memory) تهتم بالحقائق) وغير ذلك الكثير من الأنواع. وهذا التنوع المتعدد للذاكرة يجعلها متشابكة حقاً. فمثلا، ذاكرة شخص ما المختصة بالصوت والصورة في محطة يامانتو

في طوكيو هي (Yamanote Line train) للقطارات مرتبطة بذاكرة (sensory memory: (ذاكرة حسية هذا الشخص المتعلقة بآخر زيارة له لمدينة طوكيو وهي والتي ،(episodic memory: (ذاكرة فصلية بالمقابل تشكل جزءا من شخصية هذا الفرد (ذاكرة السيرة الذاتية) بالإضافة إلى معنى كلمة محطة يامانتو (للقطارات (ذاكرة دلالية.

وهناك تقسيمات أخرى تعتمد على الشكل المفترض أن تُخزَّن به الذكريات، كما أن هناك مناظرة شيقة تهتم بما إذا ما كانت الذاكرة البصرية هي نفسها الذاكرة الفصلية — وذلك اعتمادا ًعلى التعابير المنطقية أو التراكيب الرمزية — أو الأشياء التصويرية في الطبيعة. وبالنظر :إلى مفهوم آخر للذاكرة، (الذاكرة المعتمدة على المخطط والتي تؤكد على (schema - based memory أن الذاكرة تُبنَى على أنواع محددة من المخططات، والتركيبات وهي تشابه بشدة تلك التركيبات المسجلة من تقنية الحاسوب التقليدية. في منتصف الثمانينات، كانت تعتمد نماذج (الذاكرات التوزيعية :memory على نموذج الشبكات العصبية (distributed النماذج الإتصالية أو —(neural network) والتى — (connectionist models) الإرتباطية

أصبحت معروفة ومشهورة في ذلك الوقت (سنتحدث عن ذلك لاحقاً). والأبعد من ذلك فقد خصت التصنيفات الأكثر دقة: memory access). فمثلاً، (مدخل الذاكرة حيث (الذاكرة الايضاحية: explicit memory) يتطلب الأداء (اعادة التجميع المتَعمَّد: deliberate recollection) أو الوعي، مقابل (الذاكرة الضمنية: implicit memory)، والتي لا يتطلب الأداء فيها أن يكون الفرد واعياً بما يحدث. وهناك مميزات أخرى للذاكرة مثل الشعور و(اللاشعور) وهذا التمميز معمول به خصيصاً في المطبوعات العيادية الطبية والتي تتعامل مع الأعراض العصبية المرتكزة على ذاكرات اللاشعور.

ويمكننا القول حرفياً أن هناك الآلاف من التجارب أجريت في هذه الأنواع من الذاكرة. وهناك عدد من هذه الفروقات التي لم ينشأ عن تجارب نفسية فقط وإنما عن إثباتات فيزيائية أيضاً، مثل الذاكرة قصيرة وطويلة المدى أوالمخازن الحسية حيث أن مميزاتها قصيرة المدى ناتجة عن التركيبات العصبية الخاصة والمتحكمة في عملياتها، كما أن هناك فروقات تبدو انها مصممة "لتفسير" نتائج البحث التجريبية والتي تحدث في مواقف تجريبية خاصة، وغالباً ما تكون هذه النتائج محدودة بالبيانات التى من المفترض أن تفسرها. ولقد وضعنا كلمة "تفسير" بين

علامتي تنصيص لأنها مطلوبة في مسألة الإطار المرجعي، وهو موضوع سنتناوله في الفقرة التالية. وعلى الرغم من أنه لا يوجد شيء جيد أو ضار في وجود العديد من المفاهيم في مجال البحث إلا أن هذا التعدد قد يجعل المرء يتساءل عن الطريقة الأفضل للاستفسار عن الذاكرة.

مشكلة الاطار المرجعي في بحث الذاكرة: 10.4 تقديم آشبي (Ashby's)

كما اشرنا في عدة مناسبات سابقة، بأن السلوك وآلياته الأساسية فكرة غالباً ما يتم دحضها. ولكي نطوّر فهماً أفضل عن الذاكرة، دعونا نناقش هذا النص المقتبس من الكتاب الرائع: مقدمة إلى السبرانية (An Introduction to Cybernetics) للكاتب روس آشبي:

" لنفترض أني في منزل صديق لي ومرت سيارة في الخارج، وإذا بكلب هذا الصديق يندفع مسرعاً إلى زاوية المنزل منكمشاً على نفسه. بالنسبة لي هذا التصرف لا سبب له ولا يمكن تفسيره. وإذا بصديقي يقول" لقد دهس هذا الكلب قبل حوالي ستة أشهر". إذن فإن سلوك الكلب يعود رمزيا إلى حدث وقع قبل ستة أشهر. وإذا قلنا بأن الكلب استعرض "ذاكرته" فإننا سوف نعود الى ذات

الحقيقة ـــ أن السلوك المفسر لا يرجع لحالة الكلب الراهنة ولكن هذا السلوك يرجع إلى حالة الكلب قبل ستة أشهر. قد يقول أحدهم أن الكلب "لديه" ذاكرة، ثم فكِّر بأن الكلب لديه شيء آخر، مثل ان يكون له خصلة شعر سوداء. قد يغري هذا الشيء الشخص بالنظر الي الخصلة؛ ثم يكتشف الشخص بأن هذا الشيء له خاصيات مميزة. من الواضح، أن "الذاكرة" ليست عبارة عن شيء موضوعي له نظام ما إما يمكن أن يسيطر أو لا يسيطر عليه، انها مبدأ يحرص فيه الملاحظ على ملء الفراغ الناتج عن غياب جزء من النظام لايمكن ملاحظته" (1956، ص117).

لنحاول الآن أن نترجم مثال آشبي إلى موقف في تجربة ذات علاقة بالذاكرة. لنفترض أنه خلال مرحلة الاختبار ُطلِب من الشخص الخاضع للتجربة باسترجاع أكبر عدد من البنود المذكورة في قائمة ما. بالطبع، من الواضح أن سلوك الشخص الخاضع للتجربة في هذا الوضع الحالي، مرحلة الاسترجاع، يفسره موقف سابق حدث في الماضي، وتسمى هذه مرحلة التعلم. ولايمكن ملاحظة الحالة الداخلية (الباطنية) للشخص الشخص الخاضع للتجربة كلياً من الشخص القائم على التجربة (وقد تعطي التقنيات الحديثة لتصوير نشاطات الدماغ

بعض التلميحات)، بحيث يتمكن القائم على التجربة من تفسير سلوك الشخص الخاضع للتجربة في الوضع الحالي استناداً إلى حدث سابق في الماضي، ويسمى هذا بمرحلة التعلم. تعتمد فكرة الذاكرة على ربط السلوك الحالي لدى الشخص الخاضع للتجربة مع موقف حدث له في الماضي، مما يؤثر بطريقة ما على الشخص الخاضع للتجربة ويجعله يتصرف بطريقة مختلفة عن المعتاد في المواقف السابقة. لسنا هنا بصدد الحديث عن كيفية حدوث هذا الارتباط بين السلوك الحالي والماضي، ولكننا نقول أن هناك ارتباط وهذا ما يسمى بالذاكرة. بمعنى آخر، نحن لا نتحدث عن الآليات الأساسية، ولكن ليس هناك شك في أن التغير السلوكي - طريقة تأثير الموقف الماضي - يتحقق من طريق مرونة الخلايا العصبية في الدماغ. على كل حال، يجب الفصل بين مستوى السلوك ومستوى الآليات الأساسية: كما ذكرنا في الفصل الثالث، إن اللبس بين هذين المستويين قد يؤدي إلي ما هو معروف في علم الفلسفة (بخطأ التصنيف category: error).

إذا قمنا بتنويع الحالة التجريبية — مثل، الإضافة إلى القائمة لتصبح أطول، حيث تُعرض بالأشكال الحسية المختلفة (سمعية، بصرية)، أو إدخال مهام استنتاجية

أخرى (مثل العدد التنازلي من 100 بفترات متساوية بإنقاص 7 بعد مرحلة التعلم تفادياً لعملية التدريب)، من خلال تحديد مدة التعلم لإعادة انتاج بنود القائمة وغيره ـــ وبهذا فإننا نستطيع اكتشاف الآليات الأساسية للعملية التي تجمع بين الموقفين (التعلم والتذكر بالاسترجاع).
من المهم أن ندرك، في كل هذا، أن الشخص الخاضع للتجربة هو دائماً كائن متكامل يتفاعل مع العالم الحقيقي: أن الشخص الخاضع للتجربة يجب أن يقرأ أو يستمع للكلمات المدونة في القائمة ومن ثم ينطقها أو يكتبها، وفي كل منها يتطلب عملية حسية - حركية. وبمعنى آخر، هناك دائماً حافز حسي ناجم من التفاعل بين الكائن - البيئة، أي أن هناك دائماً اقتران حسي - حركي مشترك مع الذاكرة. في هذه الحالة، ولا يمكن فصل الذاكرة من الكائن المجسَّد، وهذا التفاعل هو جزء من "الآلية الأساسية للذاكرة"، حتى وإن لم نستطع معرفة التفاصيل.
قد يكون من غير الدقيق أن نستنتج من تجارب كهذه أن الذاكرة عبارة عن "مستودع تخزين"، تكون فيه الذاكرة منفصلة عن العمليات الحسية - الحركية ومن ثم تخزن في الدماغ. إن هناك انحياز قديم لهذه النظرة عن الذاكرة الموجودة في العديد من المنشورات المتخصصة، ولهذا فإنه من الصعب استئصال الفكرة. ولسوء الحظ، كما

نعرف جميعاً، فإن هذه النظرة الساذجة للعلم على أساس أنه عملية غير منحازة قد لا يعكس حقيقة الأبحاث.

ولنستمر في مناقشة هذه القضية بشكل أوسع. في تجربة قائمة – التعلُّم، يتغير سلوك الشخص الخاضع للتجربة بطرق محددة وثابتة: يستعيد الكائن بعض البنود الموجودة فى القائمة سابقاً. وهذا هو الوجه الوحيد لسلوك الكائن المأخوذ في الحسبان، على الرغم من أن سلوك (الكائن) قد يشمل أكثر من المهمة الحالية: النظر حول الغرفة وإلى الشخص القائم على التجربة (قد تكون امرأة جميلة)، البيئة المحيطة (قد تكون كئيبة و قاتمة)، التململ على الكرسي (قد يكون لأنه غير مريح)، التفكير في الحالة التجريبية (هل سأحقق نجاحاً أم سأفشل)؟ وبالتفكير في الذات (هل أملك ذاكرة جيدة ؟) وبالنظر إلى الحاسوب الشخصي (قد يكون قديماً)، واكتشاف بأنك قد تكون نسيت دخول الحمام (كم هي المدة التي تستغرقها التجربة، وهل من المفروض أن أطلب إذن للذهاب إلى الحمام الآن؟) وغيره. ومن وجهة النظر الكائن المتكامل، فإن جميع هذه العمليات تحدث في وقت واحد، والسلوك الناتج عن هذه التجربة (ظهور القائمة في مرحلة التعلُّم، وطلب تذكُّر او استرجاع البنود المدونة على القائمة في مرحلة الاختبار) سوف تكون الآثار المترتبة أو ـ الناشئة

عن ـ تركيبه معقدة للآليات الأساسية لسلوك الشخص الخاضع للتجربة. من الممتع أنه على الرغم من وجود جميع هذه العناصر، المختلفة بشدة من شخص لآخر و كونها تؤثر على أدآء الشخص الخاضع للتجربة، إن نتائج التجريبية تكون ثابتة في جميع الحالات. ولتفسير هذا الثبات في النتائج بشكل مفهوم فإن " نظام تخزين واسترجاع المعلومات " (باديلي، 1997م:ص9، Baddeley) يقترح: نموذج هيكلي محدد يمكن من تخزين بنود القائمة واسترجاعها منه. ولكن بأخذ الاطار المرجعي بعين الاعتبار، علينا أن ندرك بأن طريقة سلوك الشخص الخاضع للتجربة قد تكون شديدة التعقيد. وهناك طريقة أخرى، أيضا، وهي أن ما يبدوا كشكل هيكلي لمن يلاحظ من الخارج قد يكون تكَّون بشكل ديناميكياً، مثل مظهر النافورة ذات الشكل الناقوسي لا تُخزَّن على هيئة شكل هيكلي داخل النافورة، ولكن تنشأ نتيجة التفاعل بين شكل النافورة الأساسي واتجاه المياه الناتج عن قوة دفع المياه، توتر سطح المياه، وتأثير الجاذبية على المياه: مما يؤدي إلى شكل معين يظهر باستمرار ولكنه غير "مخزن" في أي مكان.

والجدير بالذكر أن اقتراح آشبي متناسب كلياً مع رأي كل من نيث وسيربرنانت (Neath and

اللذان قالا أن " الذاكرة لا تلاحظ Surprenant) مباشرة..... ولكن وجودها يستنتج من خلال سلوك معين أو من خلال بعض التغيير في مستوى الأداء" (2003م:ص4). السلوك المُلاحظ في مثال آشبي كان ذلك السلوك الغريب من الكلب عند عبور الشاحنة؛ وفي تجربة قائمة – التعلم كان السلوك الملاحظ هي تلك الكلمات المسجلة من الشخص الخاضع للتجربة والمدونة على القائمة السابقة. في كلتا الحالتين، تستند فكرة الذاكرة إلى ارتباط الأحداث من الماضي مع السلوك الحالي.

فيما يلي، سوف نبحث في كيفية استخدام التجسيد لتسليط الضوء على بعض المسائل في البحوث المتعلقة بالذاكرة من خلال تطبيق مبادىء التصميم لهذا المجال.

10.5 النظرية المجسدة للذاكرة: تطبيق مبدأ التصميم للأنظمة الذكية

من المهم أن نبدأ أولاً بتعليق ذو منهجية منطقية. من الممكن أن نرتِّب هذا الفصل إما بإتباع الشكل العام لبحوث الذاكرة، والذي قد ينتج عنه عدة أجزاء مثل " المنهج البيئي: approach the ecological "، " إعادة بناء الذاكرة: reconstructive memory "، " الذاكرة كبرنامج ديناميكي فعال: memory as a

أوقد ،" complex dynamical system
نستخدم مباديء التصميم، والتي قد تعطينا مفهوماً مختلفاً في هذا المجال. ولقد اخترنا الطريقة الأخيرة لأننا استخدمنا هذه التركيبة خلال هذا الكتاب، وكذلك لأن هناك مستوى مدهش من التوافق بين مبادئ التصميم و البحث الحديث في – المجسد – لموضوع الذاكرة الإنسانية.

في الفصل الرابع ناقشنا أن الكائن المجسَّد، بمجرد تفاعله مع البيئة، سوف يولِّد حافزاً حسياً وعادة ما تكون هناك ارتباطات في البيانات الحسية مما يؤدي إلى معالجة البيانات بطريقة أسهل؛ والتعليم هو في الحقيقة خير مثال في هذه الحالة. ومن الممتع أن نجد توافقا أكثر مع المنظور البيئي للذاكرة، الذي جاء اقتراحه بواسطة العالم المخضرم في مجال علم النفس الإدراكي وبحوث الذاكرة ـ أولريش نيسر (Ulrich Neisser) عام 1978م. والسؤال الذي طرحه هذا العالم هو كيف يستخدم الناس الذاكرة في الحياة اليومية. ناقش عالم النفس آرثر غلينبيرج (Arthur Glenberg)، مدير مختبر الإدراك المجسد في جامعة ويسكونسين (University of Wisconsin) - ماديسون (Madison) - ولإسم المختبر قصة فريدة في مقطع من مقالته التى عنوانها (ماهي وظيفة الذاكرة :What Memory Is For)،

ناقش آرثر أن الذاكرة لم تنشأ من أجل قائمة ــ التعلم للكلمات المستخدمة في مهام تذكرية في المختبر، ولكنها وجدت لخدمة السلوك؛ والإستيعاب والتصرّف (غلينبيرج، 1997م ،Glenberg). وبسبب هذه المعرفة المتنامية بأهمية التجسيد، فقد نالت سلوكيات الكائن الاهتمام في بحوث الذاكرة. ذكر أشر كورياتAsher Koriat) على سبيل المثال في مقالة حديثة له عن السلوك الحركي "أن الاهتمام بعمليات الذاكرة الأساسية المهتمة بالسلوك الحركي يُستحث بفكرة الإدراك المجسد، والإدراك البيئي التفاعلي الذى تنامى الاهتمام به في السنوات الأخيرة، وقاد ذلك إلى إطار مبدئي تكون فيه العمليات الإدراكية مساندة بعمق في تفاعل الجسد مع البيئة " (كورياتو ،بيرل مان - أفنيون، 2003 م: ص435 Koriat and Pearlman Avnion).: ولقد تابعا حديثهما قائلين: "إن الاهتمام المتنامي بظاهرة التجسيد في مختلف الميادين النفسية....أعطى فعالية لنظرية الإدراك". ((ص435

في منظور التجسيد للذاكرة، يلعب التفاعل مع البيئة دوراً محورياً، قد لا يكون مقبولا نوعاً ما للعديد من الأشخاص الذين يربطون بين وظيفة الذاكرة وبين التذكر او الاسترجاع الواعي ومقدرتنا على إعادة اختبار

الماضي. على أي حال، ذكر العديد من الباحثين أنه على الرغم من أن التذكر أو الاسترجاع الواعي مهم في حد ذاته، إلا أنه نادر الحدوث نسبياً مقارنة مع ظواهر الذاكرة التي لا تخضع للوعي أو الشعور (للإطلاع على الأمثلة: راجع (بريدجمان، 2003م ؛ Bridgeman، كارين وزيلينسكاي، 1996م Karn and Zelinsky ،؛ كولرزو رودجر، 1984م Kolers and Roediger). إن حقيقة كون العمليات اللاشعورية تؤثر على السلوك قدظهرت منذ وقت طويل من خلال دراسات عن ظاهرة الذاكرة الضمنية (implicit memory)، التي أثبتت أنه بعد النظرفي ما إذا كان الأشخاص الخاضعين للتجربة قادرين على التعرف على مقطع معين قد سبق قراءته من قبل، إتضح أنهم يقرئونها بسرعة أكبر في المرة الثانية (للأمثلة، أنظر جاكوبي ودالاس، 1981م Jacoby and Dallas). كما أن فكرة تأثير الذكريات اللاشعورية على سلوكنا هي بالطبع أساس وجوهر نظرية التحليل النفسي للأعصاب في علم النفس العيادي والطب النفسي، وذلك ما أوجزه الأب الروحي للتحليل النفسي، سقمند فرويد (Sigmund Freud) في أوائل القرن العشرين.

مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة ومبدأ الكائن المتكامل: المنهج البيئي

دعونا ننظر باختصار الى مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة ومبدأ الكائن المتكامل في سياق حديثنا عن الذاكرة. يخبرنا مبدأ الثلاث عناصر متناهية الدقة أن هناك دائماً ثلاثة عناصر يجب أخذها بعين الاعتبار:السلوك المرغوب والواجبات (في حالة الأنظمة الطبيعية مثل الأشخاص الخاضعين للتجربة في بحث الذاكرة، يكون السلوك الملاحظ الذي نحاول تفسيره)؛ و البيئة؛ والكائن نفسه. وعلى ما يبدو فإن بحث الذاكرة التجريبي في المختبر التقليدي للعالم الألماني هرمان ابينوس (Hermann Ebbinghaus)، المؤسس للبحث التجريبي لأعلى مستويات الوظائف الإدراكية، ركَّز على سلوك الكائن ومحاولة السيطرة على المؤثرات البيئية، بالمقابل، فإن المنهج البيئي في بحوث الذاكرة، (أسلوب - نيسر :Neisser - style)، يستغل تفاعل الكائن مع البيئة عن طريق البحث في وظيفة الذاكرة في العالم الواقعي من خلال مواقف يومية حقيقية. إن الهدف من بحث المختبر مثير ومهم: بالسيطرة الُمحْكَمَة على الأحوال البيئية، من الممكن الكشف عن ماهية "وظيفة الذاكرة الصافية: pure memory function"، بدون أن

تختلط مع غيرها من العوامل. بمعنى أخر، يفترض هذا الهدف أن هناك شيئاً مثل " وظيفة الذاكرة الصافية "، ورغم أن آشبي يناقش الذاكرة كبناء أو أساس نظري، إلا أن هذا المنظور غير واضح. بدلا من ذلك، ذكرنا سابقاً أن الذاكرة هي إحدى الطرق التي تشكل سلوك الكائن المتكامل، وبحث الذاكرة من هذا المنظور يتحدث عن إيجاد روابط بين سلوك الكائن و إيجاد طرق توضح كيفية تغير سلوك الكائن اعتمادا على المواقف التى تمت تجربتها.

إن واحدة من مشاكل دراسات الذاكرة هو أن الذاكرة مرتبطة بقوة بما حولها وقد أثبتت دراسات الذاكرة الذاتية وأدلة شهود العيان ذلك. على سبيل المثال، دقة اجابة شاهد العيان على سؤال يتأثر بشدة بناء على اختيار الشاهد إذا كان الرد تطوعياً أم لا، وأيضاً على مدى دقة الإجابة (فيشر، Fisher، 1996م). من منظور الكائن المتكامل، فإن اعتماد الذاكرة على المحتوى قد يبدوا علامة واضحة على أن الذاكرة مكاناً لتخزين الأشياء واسترجاعها يعتبر غير مقبولاً. استناداً إلى العالم النفسي البارز فيرجي كريك (Fergus Craik) " من الواضح أن شيئاً ما في النظام يجب أن يتغير نتيجة للتجربة، لكن هذه التغيرات قد تكون تعديلات شاملة لكل النظام الإدراكي

بحيث أن النظام يتفاعل الآن مع أوجه البيئة بطرق مختلفة، وبدلاً من كون الأحداث مسجلة بدقة ومتفرقة مثل الأحداث المسجلة على جهاز الفيديو" (كريك، Craik) 1983م: ص356 لمزيد من الآراء راجع (كوريات وجولد سميث، Koriat and Goldsmith) 1996م. بعبارة أخرى، تُظهر الذاكرة نفسها من خلال التغيرات السلوكية للأفراد. ونحن كملاحظين قد نرغب في وصف هذا التغيرات السلوكية عن طريق الاستناد إلى مفهوم الذاكرة، وهذه هي بالضبط فكرة آشبي. يركز التوجه البيئي، من خلال دراسة تصرفات الإنسان في مواقف حياته الحقيقية المعقدة خارج المختبر حيث يوجد العديد من المؤثرات، ويركز على الأشخاص ككل ويدرس كيفية تكيُّفهم مع البيئة. وعلى الرغم من أنه يعطينا نظرة أكثر واقعية، إلا أن المنظور البيئي نفسه لم يدحض فكرة " المخزن"، لكنه، على الأقل، يتحدى هذه الفكرة بشدة.

الكائن المتكامل، التناسق الحسي الحركي، الطبيعة القائمة للذاكرة، الذاكرة كإعادة تصنيف

هذا النقاش يشير مسبقاً إلى أن المنظور البيئي للذاكرة، مع أخذ كل العوامل في الاعتبار التي من المحتمل أنها تؤثر في سلوك الشخص الخاضع للتجربة

في مواقف يومية حقيقية، لا يعطينا نتائج علمية سليمة أو نتائج يمكن إعادة إنتاجها. هذه هي الصعوبة التي أن يناقش كتاب نيسر (Baddeley) دفعت باديلي الذي (الذاكرة الرقابية: Memory Observed) يستحق تصفح القاريء، ولكنه يخبرنا أكثر عن حماس نيسر واقتراحاته عن الكيفية الواجبة لدراسة الذاكرة الانسانية" (باديلي، 1997م: ص2 ،Baddeley).
لكننا نعتقد أن مبادىء التصميم يمكن أن تقدم التركيز المطلوب لأفكار نيسر. فعلى سبيل المثال، أن الكائن الكامل، يولِّد كيفما تحرك حافزاً حسيا وعادة ما يحتوي هذا الحافز الحسي على ارتباطات يمكن استغلالها بطرق عدة. مثلاً، عندما نسمع مصادفة مقطعا قصيرا لأغنية ما على الراديو ولكننا لا نستطيع تذكر الأغنية بأكملها، وبعد تكرار دندنة الجزء المسموع، فإن الجزء المتبقي من الأغنية قد يأتي فنتذكره تباعاً بصورة اوتوماتيكية. من الطبيعي، أن هذا التناسق الحسي - الحركي سوف يدعم وظيفة التذكر اوالاسترجاع. إن انتاج هذا الجزء من التتبعات والتناسق الحسي - الحركي مثل دندنة مقطوعة موسيقية معينة عبر تحريك عضلات الأوتار الصوتية يولد موجات صوتية في محيط تواجد الكائن، مما يغري الدافع الحسي لدى الكائن، وبهذا فأنت تسمع دندنتك مما

يؤدي إلى استرجاع باقي الأغنية. إذا اختلفنا مع غلينبرج (Glenberg)، فيجب علينا تفسير من أين يأتي الهدف لاستدعاء هذه الأغنية في المقام الاول. نعتقد أن هذا لا يحتاج لوجود أي هدف؛ ببساطة هو سلوك متوالي حفزه مقطع موسيقي مذاع على الراديو. وهذا المثال الطريف يوضح مبدأ التناسق الحسي - الحركي وأعني بذلك أنه من خلال الدندنة تم تحفيز الدافع الحسي بطريقة لها تأثير كبير جداً ومحدداً في السلوك.

ولأن الذاكرة ترتبط مباشرة بالتناسق الحسي - الحركي بدلا من عملها فقط كمخزن داخلي، كما أنه يجب علينا التفاعل مع البيئة بطرق محددة لتنشيط وظائف الذاكرة، وهذا ما يطلق عليه (التفاعل البيئي الطبيعي للذاكرة: situated nature of memory): وتعتمد بشكل قوي على التفاعل مع العالم الحقيقي والوضع الحالي. وبشكل طبيعي، كما اوضحنا سابقاً، غالباً لا تبدو الذاكرة كفعل شعوري. ولكن هذا الذى سوف يقلل مانحتاج إلى تخزينه لأن جزءاً من العمل يتم السيطرة عليه بواسطة (نظام التفاعل البيئي: system - environment interaction). ولنأخذ مثال جوش، أحد الكتاب عندما كان يدرس في جامعة زيورخ، بينما كان يعبر الطريق في محطة القطارات الأساسية في

زيورخ تذكر فجأة حادثة من طفولته في كندا وذلك عندما كان على موعد مع طبيب، حيث كان يجب عليه عبور طريق منحدر مماثل أمام المبنى - وهي حادثة "نسيت" منذ زمن طويل - حيث تذكر الحادثة بالرغم من ان المحيط كان مختلفا تماما. من الواضح، ان تتابع الإشارات الحسية - الحركية يتولد ويستثير الذاكرة الاصطناعي (Bovet) المحددة. وبالعودة إلى فأر بوفيت ـــ بالرغم من انه لم يكن انساناً ـــ نجد أن التفاعل مع الجدار الأحمر، واستغلال ذلك التفاعل، كانا حاسماً لإنجاح (مهمة التعلم اللاحق بالمكافأة: delayed reward learning task).

دعونا نتوسع قليلاً في شرحنا لمبدأ التناسق الحسي - الحركي مع الأخذ بعين الاعتبار مفهوم الذاكرة. في الفصول السابقة، وتحديداً في خضم الفصل الخامس عن التطوير، تحدثنا عن أهمية التناسق الحسي - الحركي بالنسبة للتصنيف، وقد استخدما فكرة (الجاذبات: attractors) لتحديد الحالات الحسية - الحركية المقابلة للتصنيف. تحدد بحوث علم النفس تقسيماً واضحاً بين التصنيف والتذكر. وفي دراسات التصنيف، طرحت مفاهيم مثل النموذج الأصلي (concepts as protype) ونماذج الأمثلة الأساسي(exemplar -

لتفسير طرق استجابة الأشخاص ،(based model
الخاضعين للتجربة، مثلا: عندما يُطلب تصنيف أشياء
مصورة مثل " حيوانات " " فواكه " " أثاث " وغيره.
في المقابل، تهتم دراسات الذاكرة بمبادئ ناقشناها مثل
الذاكرة قصيرة ،(LTM)الذاكرة طويلة المدى
(episodic الذاكرة الفصلية ,(STM)المدى
إلخ. وعلى ما يبدو فإن هذا التقسيم ...(memory
يرجع إلى الهرم التجريبي أكثر منه إلى الآليات الأساسية.
ومرة اخرى، نذكر أن هاتين العمليتين ليستا منفصلتين
تحدثان في العقل، ولكنهما طريقتين مختلفتين تبحث في
السلوك الإنساني.

أما بالنسبة لمنظور الكائن الكامل على الاقل، فإن
المبدأين ـــ التصنيف والتذكر ـــ لا يمكن التمييز بينهما
عملياً وذلك لأنه في العالم الحقيقي لا يوجد شيئين
متطابقين. وعليه فاننا عندما نتعرف على شخص (نعرفه
من السابق): نقوم بعملية التجريد التي ناقشناها سابقاً،
وعلى الرغم من أنه قد يكون نفس الشخص فان الطريقة
التي يبدو او تبدوا بها، والتحفيزالحسي الذي يثيره او
تثيره قد يكون مختلفاً كليا في كل حالة. ولنأخذ مقطعاً
أخرا من اكتشاف الذاكرة لروزينفيلد (Rosenfield):

" نحن نتعرف على الناس على الرغم من تعرضهم لعوامل الشيخوخة، كما أننا نتعرف على متعلقات شخصية منسية وصور لأماكن زرناها منذ زمن. كما أننا فد نتعرف ومحاولات تقليد (Picasso) على رسومات لبيكاسو لأعماله. وعندما نستطيع ذلك فنحن لم نر بيكاسو أو التقليد، فنحن لا نقوم بأكثر من استرجاع الانطباعات السابقة. ونحن نصنف اعمال بيكاسو الاصلية عن التقليد. إن تعرفنا على الرسومات أو على الأشخاص إنما هو تعرف لتصنيف ما، وليس لمادة معينة. لا يكون الأشخاص كما كانوا عليه في اللحظة السابقة، والأشياء لا ترى تماماً بالطريقة نفسها في كل مرة " (1988م: ص163)

يمكن أن تؤخذ ملاحظة روزينفيلد كنقاش معارض لتشبيه الذاكرة بالمخزن: إذا اخترنا شيئاً معيناً من الذاكرة، فإنه ليس من الممكن أن يتطابق تماما مع ما نراه حالياً. لذلك التذكر لابد إعتباره ضرباً من التصنيف، وليس عبارة عن تشابه بسيط. إن هذا المنظور يتوافق مع رؤية جيرالد إيدلمان (Gerald Edelman)، الذي يعتبر التذكر مقدرة على تنظيم العالم الى تصنيفات: "التذكر هو عبارة عن مقدرة قيمة للتصنيف اوالتعميم الارتباطي، وهو ليس تخزين مظاهر وخاصيات الأشياء

في قوائم بصورة مترابطة" (إيدلمان، 1987م:ص241،
وهذه خاصية سلوكية ولا تتضمن آليات .(Edelman
محددة. التذكر، من وجهة نظر إيدلمان، خاصية تمتاز بها الأنظمة المتكاملة:" إنه النظام الحسي - الحركي بأكمله وأنشطته المتكررة واستجاباته المتناسقة مع وظيفة التصنيف المرتبطة مع الخريطة العالمية الشاملة والتي أدت إلى الاستجابة التذكارية" (1987م: ص266) (التصنيف المرتبط هو تركيبات عصبية تشارك في التصنيف: Classification couples are specific neural structures involed in categorization). تخبرنا هذه النبذة حقيقة أننا نتعامل مع كائن متكامل منشغل في العمليات الحسية الحركية والتي تظهرالسلوك الذي اتفقنا على تسميته التذكر. مرة أخرى، إن التذكر مثل التصنيف، لذلك فهو ليس نشاط وحده ذاتية داخل الدماغ، ولكنه متطلب للكائن ككل.

هناك نقطة أضافية لها أهمية حاسمة، لمَّح إليها روزينفيلد (Rosenfield) باختصار عندما تحدث قائلاً "الأشياء لا تُرى تماماً بالطريقة نفسها في كل مرة". ولقد ذكرنا في الفصل الثالث، نظرية (ART) لستيفن جروسبيرغ (Steven Grossberg)، المعروفة

بنظرية (الرنين المتكيف: adaptive resonance). إن مظهر إساسي لنظرية (ART) هو أنه مع كل فعل للتصنيف فإن هذا الاصناف نفسها، وكذلك تفسيرات الحافز الحسي، تتعدل بطريقة أو بأخرى: سواء يتم تعديل التصنيف الموجود ليتطابق مع الحافز الحسي الحالي أو تتشكل تصنيفات جديدة. وبينما تقدم نظرية (ART) وجهة نظر مغايرة للتجسيد، إلا أنها توضح فكرة إعادة التصنيف. إن المثير في نهج أيدلمان (Edelman) لإعادة التصنيف هوأنها ليست فقط مجسدة بالكامل ولكنها، بالاضافة الى ذلك، توضح على نحو شامل أن الأنظمة العصبية متطلبة في التناسق الحسي الحركي وكذلك في إعادة التصنيف. وهكذا، نستطيع أن نرى أن العمليات الحسية الحركية المتطلبة في الإدراك – أي الذاكرة و التصنيف - لا يمكن الفصل بينها، وانها قد تكون وحدات غير قابلة للفصل مستقرة في مكان ما في العقل، ولكنها طرقاً مختلفة لرؤية لنفس العملية —– أي العملية الناتجة عن سلوك مجسد.

الإستجابة - و - التنوع، التصميم الزهيد، التوازن البيئي: التنصيب

Diversity - Compliance, Cheap

Design, and Ecological Balance: Scaffolding

دعونا نتفحص باختصار عددا من الأفكارمن نظريتنا فيما يتعلق بالبحث في الذاكرة مثل الإستجابة والتنوع ومبادئ التصميم في التصميم الزهيد والتوازن البيئي. تذكر أن الإستجابة والتنوع هو عبارة عن استغلال للبيئة المحيطة المخصصة، أما التصميم الزهيد فيخبرنا أن الكائنات الذكية يجب أن تستغل معطيات البيئة المحيطة المخصصة من أجل زيادة الموارد، وأما التوازن البيئي فهو يتحدث عن الكيفية التى من خلالها يتم تحقيق هذا الأمر، والتى تعرف بإسم البني الشكلية الحاسوبية. إن البنى الشكلية والأنشطة الديناميكية للكائن المجسد الحقيقي، بذاتها، تدعم وظيفة التذكر: إن التبعات السلوكية لا تحتاج للتخزين الداخلي ولكنها ببساطة تأخذ دورها، إذا صح التعبير. ولنتذكر حادثة جوش، الذي بينما كان يهبط التل تذكر حادثة من طفولته؛ لم يكن هناك حاجة واضحة لتخزين تفاصيل هذه الحادثة، ولكن الدافع الحسي المهم تولَّد اثناء مشيه. في بعض الحالات، تفرغ هذه المهمة في تفاعل النظام - البيئي، والذي يقلل من الحاجة إلى التخزين الداخلي إلى أقل حد. وعليه،

فالتجسيد الفيزيائي يوفر وظيفة التذكّر لان الفيزياء الديناميكية يمكن أن تستغل لهذا الهدف.
أكثر السبل احترافية والتى من خلالها يتم استغلال التفاعل مع البيئة ذات علاقة مع المفهوم العام للتنصيب. وإحدى الطرق الموثقة التى يدعم بها الناس وظيفة التذكر لديهم هي تحريك وإعادة تشكيل بيئاتهم بصورة تسهل عملية التفاعل - كما شرحنا في الفصلين الخامس والثامن. (التفاعل بالأثر Stigmergic: interactions) مثل أن يترك النمل اثر من الفيرمونات أو وضع إشارات المرورالضوئية في العالم، وهذه إحدى طرق لتنصيب البيئة. التنصيب موجود حولنا في العالم الحديث المتحضر: يسجل الناس الملاحظات، والمواعيد في مذكراتهم ويستخدمون الملصقات للتذكير بمهامهم. وكما وصف الوضع آندي كلارك (Andy Clark) بان " عقولنا تجعل من العالم الذي حولنا ذكياً حتى نتقبَّل ونحن مسلِّمين أن يُزَجْ بنا! أو لنأخذها من زاوية أخرى، إنه العقل الإنساني الذي يضيف قطعاً كبيرة من التنصيب الخارجي التي تُشكِّل الذكاء، أنه (محرك الاستدلال العقلاني: rational inference engine) الذي نطلق عليه العقل " (كلارك، 1997م: Clark)، ص180 وهذه الفكرة متوافقة كلياً مع

للتذكر البيئي (المنظور: ecological perspective on memory).
tasks:حقيقة أخرى تدعم فكرة (إفراغ مهام الذاكرة في البيئة هو أن التعرف off - loading memory) على الاشياء دائماً ما يكون أفضل من عملية التجميع. إنه لمن السهل التعرف على شخص ما مقارنة بتخيل شكله الحقيقي. من السهل أيضاً، أن يتم التعرف على بند موجود على القائمة تمت رؤيته من قبل بدلاً من حصر جميع البنود الموجودة على القائمة. وعلى ما يبدو فإن الناس يميلون إلى (الإقتصاد) حيث انهم في حالة عدم تمثيل التفاصيل — حيث ان هذه التفاصيل غير المهمة لا توجد حاجة لتخزينها لأنها موجودة في البيئة على كل حال. وهذا يشابه جملة رودني بروكس المثيرة " العالم هو النموذج الأمثل لنفسه: The world is its own best model " (بروكس، 1990م: ص6، Brooks). بالإضافة إلى ذلك، إذا أردنا عرض الكثير من التفاصيل في ذاكرتنا، فإنه سيكون من الصعب علينا متابعة التغييرات التى قد تحدث، لأن العالم يتغير باستمرار (الناس يبدلون ملابسهم، يغيرون من قصات شعورهم، وتظهر عليهم التجاعيد) وهذه المعلومات قد تخسر قيمتها مع (التكيف السلوكي: adaptive

في تجربة بوفيت، قام الفأر الاصطناعي .(behavior أيضاً بإفراغ مهام الذاكرة في البيئة من خلال استغلال الظهور العرضي للجدار الأحمر والذي كان من الممكن استخدامه في الربط بين شيئين منفصلين بواسطة الوقت: لمس جديلة الشوارب، الدوران، الجدار الأحمرمن جهة، المكافأة والجدار الأحمر من جهة أخرى.

هناك عدد كبير من الأمثلة التي تثبت أن المحرك الحسي — أو بصورة أعم، تجسيد — طبيعة التذكر ومبادئ التصميم من الممكن تطبيقها بسهولة لتقديم تفسيرات عن التغيير السلوكي. ولكن الاثبات التجريبي في المختبر سيثبت ذلك بشكل أقوى. ولسوء الحظ، هناك عدد قليل نسبياً من التجارب الحديثة التي تقدم دعماً تجريبياً لتجسيد طبيعة التذكر. ونحن نتوقع أن هناك سبباً وهذا العدد القليل، مقارنة بالكم الهائل من التجارب عن مفهوم عدم التجسيد — يعود إلى صعوبات الطريقة التطبيقية: فالنسبة لتجربة الذاكرة غير المجسدة، كل ما هو مطلوب شاشة كومبيوتر، بينما يتطلب الوقوف على المظاهر الحسية - الحركية للتذكر معدات متقدمة، وحواس إضافية (اللمس، لحظة الانفعال، زوايا ربط) وتسهيلات التسجيل مثل معدات رصد الحركة. إضافة إلى ذلك، من الصعب دمج التقنيات الحالية لتصوير الدماغ

داخل المهمات الحسية - الحركية حيث يتطلب ذلك من الأشخاص الحركة بينما تتطلب المعدات من الشخص موضع التجربة الثبات وعدم الحركة. وإذا كانت المهمة "إدراكية بحتة: purely cognitive " سيتطلب ذلك عدم الحركة وستكون التجربة سهلة ويصبح بالإمكان تطبيق الاجراءات الموحدة.

الإطار المرجعي ومبادئ التوازي، العمليات الحرة المقرونة، التكرار التبادلي: الذاكرة البنَّاءة، الديناميكيات، الجاذبات

Frame of Reefrence and The Principles of Parallel Loosely Coupled Processes and Redundancy: Constructive Memory Dynamics and Attractors

من الواضح من جميع ما ناقشناه في هذا الفصل، أن العقل وخاصة (مرونة الخلايا العصبية: neuronal plasticity) يلعبان دوراً جوهرياً مهماً؛ ولكننا ركزنا عمداً على مبادئ التصميم ــــ فيما يتعلق بالتفاعل مع البيئة، والتنصيب، وعلى التناسق الحسي - الحركي ــــ أولا، ذلك لأنه في العديد من المنشورات العلمية التي تتحدث عن علم (ذاكرة الخلايا العصبية - الموجهة:

neuroscience - oriented memory) يتم التركيز فقط على العمليات الدماغية ويتم تجاهل الكائن المتكامل كلياً. ولهذا، سوف نركز هنا، في الدقائق الأولى، على العمليات الدماغية التى تشارك في التذكر. وهناك إثبات أضافي في العلوم الدماغية سوف تلقي ضوءاً إضافياً على العمليات الخاضعة للتدقيق. ناقشنا سابقاً باختصار الفرق بين الذاكرة قصيرة المدى والذاكرة طويلة المدى، حيث أن هناك إثبات واضح من علم الخلايا العصبية الدماغية (بما في ذلك علم النفس، وعلم التشريح) بأنه لدينا على الأقل نظامين متميزين عن بعضهما، ولو جزئيا، على مستوى الدماغ. وكما اوضحنا سابقاً، فقد خطط ايدلمان بصورة جميلة تركيبات الخلايا العصبية الدماغية المتعلقة بالتصنيف — أو لنقُل إعادة تصنيف — السلوك. ولقد قام الباحث في مواضيع الدماغ والتر فريمان، في الثمانينات، بسلسلة من الفحوصات التقليدية على حاسة الشم عند الأرانب، حيث درس الآليات العقلية الخاضعة لمقدرة هذه الحيوانات على تمييز الروائح. (راجع فريمان، 1991م Freeman)، لملخص عن التجربة، التي أوجزناها في الفصل الثالث. ولننظر الآن الى هذه التجربة عن كثب أكثر لأنها تقدم منظوراً مثيرا عن الذاكرة.

سجَّل فريمان بواسطة جهاز (EEGs) لرسم المخ حوالي ستين موقعاً مختلفاً في ذات الوقت من على سطح الجمجمة ـــ للمنطقة الواقعة فوق حاسة الشم والعضو العقلي المسئول عن حاسة الشم ـــعند الأرانب. ولقد عكست هذه التسجيلات نشاط آلاف من المجموعات للخلايا العصبية الواقعة تماماً أسفل الأقطاب الكهربائية المترابطة. تم تدريب الأرنب على الاستجابة لرائحة نشارة الخشب إما عن طريق التذوق أو المضغ، وعندما تحصل الاستجابة، يسجل جهاز رسم المخ الوضع. ثم يدرَّب الأرنب على الاستجابة لرائحة الموز وعندما يستجيب بصورة صحيحة يقوم الجهاز بالتسجيل ثانية. أخيراً، يتم تسجيِل تكيف الاستجابة لرائحة نشارة الخشب فقط ويعتبر هذا ثالث تسجيل. والمفاجأة الغريبة عند فريمان أنه على الرغم من أن الأرانب تتعرف بوضوح على نشارة الخشب في المرحلة الثالثة، إلا أن نموذج التسجيل كان مختلفاً كلياً عما كان عليه في المرة الأولى! بمعنى آخر، أن التعرض لرائحة الموز أثر بطريقة ما على النظام العصبي إلى حد أن ديناميكية التسجيل خلال التعرض الثاني لنشارة الخشب (المرحلة الثالثة) تأثرت لأن التسجيل الثالث لم يطابق التسجيل الأول. من خلال هذه التجربة نستطيع أن نلخص أن تصنيفات الروائح لا

تظهر في مستوى النشاط العقلي فقط، أو على الأقل هذه الأجزاء التى تم قياسها بواسطة جهاز EEG لرسم المخ.
الاختلافات — في تصنيف روائح " الموز " و"نشارة الخشب" — الذي نبحث عنه ليس موجوداً على مستوى أو، باستخدام المصطلحات التي قدمناها في EEG أنماط هذا الكتاب، وعلى مستوى الآليات الداخلية فقط، ولكنه موجود في الاستجابة السلوكية للكائن المتكامل (حيث يعرف الباحثون أي رائحة تستطيع الأرانب معرفتها للمرة الأولى). وهذا مثال آخر لمشكلة الإطار المرجعي: إذا نظرنا إلى سلوك الكائن المتكامل سوف نجد نفس الاستجابة (أو شبه الاستجابة) لرائحة الخشب في المحاولتين الأولى والثالثة، بينما إذا نظرنا إلى آلية الدماغ الديناميكية فقط (انماط EEG) فإن المحاولة الأولى والثالثة تختلفان بوضوح.
عموماً، اعتبر الكثير من الباحثين — بما فيهم والتر فريمان (Walter Freeman)، وسكوت كيلسو (Scott Kelso) صاحب كتاب (الانماط الديناميكية: Dynamic Patterns)، استر ثيلين (Esther Thelen) وليندا سميث (Smith Linda) مؤلفا كتاب (منظور نظم الأنماط الديناميكية في تطوير الإدراك والفعل: A Dynamic Systems Perspective

on Development of Cognition and Action)، وكونهيكو كانيكو (Kunihiko Kaneko) وأشير تسودا (Ichiro Tsuda) مؤلفا (النظم المعقدة: الفوضى وما وراءها: Complex Systems: Chaos and Beyond)، وهؤلاء هم أبرز الباحثين— اعتبروا الدماغ نظاماً ديناميكياً، واقترحوا نماذج وثيقة الصلة بآلية الدماغ، مثل، النماذج التى تتحدث عن كيفية تغير نشاط الدماغ مع مرور الزمن. ولقد ايد الكثير منهم اقتراح أن الذكريات موجودة في الدماغ على شكل جاذبات (انظر صندوق التركيز 401). على كل حال، فإننا نحذر ثانية من النظرة إلى الدماغ بمعزل: حيث أن العمليات الحسية - الحركية تلعب دوراً مهماً في تشكيل وتأثير حالات الجذب والانتقال فيما بينهم.

أحد الرائدين في (Freeman)، اقترح فريمان نظرية الدماغ الميكانيكي (dynamical brain theory)، أن الذكريات المحددة يمكن أن ينظر اليها كجاذبات فوضوية. تذكر أن الجاذب الفوضوي هو عبارة عن منطقة في (مرحلة الفراغ: phase space) تكون مثبَّتة ولكن المسار المنحني لايمكن التنبؤ بتفاصيله. بعبارة أخرى، حتى لو استقر الدماغ في حالة

جذب فوضوي، فإن أنماط الدماغ سوف تختلف إلى حد ما. كما أخبر فريمان ان " الفوضى تكمن وراء مقدرة الدماغ على الاستجابة بمرونة للعالم الخارجي وتوليد أنماط نشاطية مبتكرة " (1991ص78). إن العضو الحي قادر على التمييز بين أي رائحة، هناك جذب فوضوي، وفي أي وقت تظهر رائحة جديدة (يمكن تمييزها)، فإن جاذباً جديداً يتشكَّل لهذه الرائحة الجديدة. وفي نموذج فريمان عن المصباح، يتحقق التذكر بواسطة التنقل بين جاذبات فوضوية مختلفة — إحداها لنشارة الخشب والآخر للموز وغيره. إن الجاذب الذي في دماغ الأرنب الخاص بالقفز والاستقرار يحدد من خلال ظهور رائحة معينة (تعلم التعرف عليها). بالرجوع إلى تجربة نشارة الخشب والموز، وبسبب التنوع العالي في الأنماط، فإنه من غير الواضح الفرق عندما يختلف خطين في ينتميان لنفس حالة الجذب الفوضوي. إن EEG رسم ال النظر إلى الذكريات على أنها حالات جذب تم اقتراحها من قبل عدد من جماعة الشبكات العصبية الاصطناعية راجع 1989 م (أميت، Amit) لتغطية ممتازة للموضوع.

إن هذه الطريقة في التنظير عن الذاكرة قد تكون إلى حد ما تخمينية، ولكنها جذابة فطرياً، وإن كانت تساعد الباحثين على تطوير أفكار تجريبية جديدة ومبادئ نظرية

حديثة، فهي بذلك ذات قيمة حقيقية بغض النظر عما إذا كان في النهاية يمكن اعتبار النظام الديناميكي مثال جيد لفهم وظيفة الدماغ. ولإنهاء هذا النقاش عن آليات الدماغ والذاكرة يجب علينا أن نشير بأن هناك الكثير من تجارب الرياضيات الرسمية، ولكنها للأسف شديدة التعقيد، والتي تكتشف الاحتمالات في هذا الإطار. (لمزيد من الأمثلة انظر كانيكور وتسودا، 2001م، Kaneko and Tsuda).

نستطيع الخروج بعدد من النتائج من منظور دراسة الذاكرة من خلال الأنظمة الديناميكية. أولاً، معظم العلماء العاملين في هذا المجال قد يؤيدون أن هناك حاجة لبحوث اساسية لتحقيق فهم أعمق لآليات الدماغ الديناميكية الكامنة وراء الذاكرة الإنسانية. ثانياً، إن ما ظهر من خلال العمل السابق يدل على أن الذاكرة لا يمكن تصورها على أنها "هياكل مخزَّنة stored structures": سلبية، ولكنها تتطلب عمليات ديناميكية. وهذا بالضبط ما يجعل التذكر ــــ عندما نتوسع، بصورة عامة فإننا نضمِّن السلوك الإنساني ليكون ــــ متكيفاً. ثالثاً، السلوك لا يُخزَّن في الدماغ، ولكنه ينشأ مثل الكائن الذي يتفاعل مع بيئته. فإذا نشأ في هذا السلوك المتفاعل والذي يمكن مقارنته مع مواقف مشابهة سابقة، فإننا نستطيع القول

بأن النظام تذكَّر الموقف. ولأن "الذكريات" ليست كامنة داخل النظام، و لكنها تتشكل بديناميكية خلال التفاعل مع العالم، لذا فنحن نقول بأن التذكُّراستدلالي. كما يوجد هناك اقتران حر من خلال التفاعل مع البيئة: إن الأعصاب في البصلة الشمية "تتعاون" ـــفتكون في حالة اقتران حر من خلال التفاعل مع البيئةـــ لتستقر في حالة جذب فوضوي محددة عندما تتعرض لرائحة معينة. أخيراً إن طبيعة الذاكرة الاستدلالية هي نتيجة لمنظور الكائن المتكامل وطبيعة الكائنات التفاعلية مع البيئة، وهي نظرة تتماشى مع نظرة الادراك البيئي التفاعلي (مثال، كلانسي، 1997م، Clancey). وفي منظور الادراك البيئي التفاعلي، المعرفة ليست متعلقة بحالة الكائن الداخلية، ولكنها تنشأ من خلال تفاعل الكائن مع العالم الخارجي. (نحن نفضل مصطلح (التذكُّر الاستدلالي: constructive memory) على مصطلح (الذاكرة المعاد بناؤها: reconstructive memory) لأن المصطلح الأخير يشير إلى وجود عناصر مخزنة في مكان ما والذاكرة الحالية تتشكل من هذه الاجزاء. لذلك فإن الذاكرة المعاد بنائها سوف تكون مماثلة لفكرة مستودع التخزين؛ المحتوية لتلك القطع الاصغر المخزنة في مجموعات متشابهة).

لتلخيص هذا الجزء، دعونا نربط بين هذا النقاش وبين المجال التقليدي للشبكات العصبية. في الثمانينات والتسعينات، تم تطوير العديد من نماذج التذكر المعتمدة على (الشبكات الإتصالية أو الارتباطية: connectionist networks)، ولقد كانت مكررة خاصة في علم النفس، كما سنرى في محتوى كتاب (علم النفس الإتصالي أو الارتباطي: Connectionist Psychology) المنشور عام 1997م وقام بتأليفه اثنان من رواد علم النفس الإنجليز ريتشارد أليز (Richard Ellis) وغلين همفريز ((Glynn Humphreys وكذلك كتاب (اعادة التفكير الفطري: Rethinking Innateness) للمؤلف جف أيلمان (Jeff Elman) وعدد من زملائه، والذي يلخص (المنظور الإتصالي أو الارتباطي: connectionist perspective) في التطوير. ولنتذكر سوياً نقاشنا في الفصل الثاني عن " مسح مجال الذكاء الاصطناعي "، عندما قدمنا (الإتصالية أو الارتباط: connectionism) على أنه نوع خاص من (الشبكات الدماغية العصبية الإصطناعية أو الشبكات العصبية الإصطناعية: networkartificial neural) وطريقة معروفة لنمذجة الوظائف الحيوية

والنفسية. ولأن المعرفة بهذه الشبكات مخزنة في قوة الإتصالات أو الارتباطات بين الأعصاب الاصطناعية، والتي لا نستطيع معرفة ما هو مشفر فيها فقط بالنظر إلى المصفوفة الإتصالية أوالارتباطية connectivity): matrix): حيث أنها موزعة بشكل واسع وغير مخزنة في موقع معين. والآن تذكر أن الكائنات المجسدة يجب أن تؤدي نوعاً معيناً من (الفعل أو الحركة :action) لكي تولد التحفيز الحسي. في حين أن جميع (النماذج الإتصالية أو الارتباطية: Connectionist models) غير مجسدة، لذا فهي بالطبع لا تستطيع التصرف وبذلك فهي لا تستطيع توليد التحفيز الحسي. اذا على القائم على التجربة أن يقدم التحفيز الحسي إلى الشبكات ليستخلص شيئاً منها، ويجب أن يجهِّز هذا التحفيز الحسي بدقة. وبينما لا يستطيع الكائن المجسد من خلال ذاته توليد التحفيز الحسي "الجيد" للتفاعل مع العالم الخارجي، فإن الأنظمة غير المجسدة يجب أن تعطي المدخلات الصحيحة لتسفر عن مخرجات مفيدة. إن النماذج الإتصالية أو الارتباطية تعتبر نقطة بداية لتطوير نماذج تذكُّر تتعدى أفكار "المخزن". على كلٍ فإن النماذج الإتصالية أو الارتباطية، والتي يمكن أن تتعلم، عادة ما تكون ساكنة كونها لا تحتوى على آليات ديناميكية: تتوفر

المدخلات، الإشارات تنتشر خلال الشبكة، لينتج مخرج محدد. ومن ثم، يجب تقديم المدخل الثاني. بالرجوع إلى الفصل الثاني اشرنا أن الاتجاه في النماذج النفسية وتقنية المعلوماتية العصبية يميل إلى نماذج أكثر ديناميكة وحيوية. وهذا ما هو حاصل بدرجة ما في (بحث الإتصالية: أو الارتباطية researchConnectionist): كما ذكرنا سابقاً، فإن الامتداد المتعارف عليه لنماذج الشبكات العصبية هي والتى يلعب (spiking networks :شبكات التشبيك) فيها كل من الزمن والانتشار دوراً مهماً. فقط إذا اخذنا الوقت في الاعتبار، عندها يكون من الممكن وجود ديناميكية مثيرة. إن النماذج لكل من فريمان وكيلسو، وكانيكو، وتسودا وغيرهم هي على درجة عالية من الديناميكية ولكن المزيد من البحوث مطلوبة لتحقيق فهم أفضل عن كيفية عمل الشبكات العصبية الديناميكية خاصة إذا استخدمت من قبل الكائنات المجسدة.

10.6 نتائج دراسات الذاكرة: ملخص و تأملات:

ماذا تعلمنا من تطبيقاتنا لمبادئ التصميم على موضوعات في بحث الذاكرة؟ بدأنا بوصف لتجربة الروبوت التي أعطت نتائج مدهشة: استطاع الروبوت تعلم: delayed reward (مهمة بالمكافأة اللاحقة

عن طريق اختيار الارتباطات الفورية. ونستطيع (task
القول أن الفأر الاصطناعي ليس في حاجة إلى تذكر القرارات والمواقع التي يُؤخذ بها في المهمة، على الرغم من أن هذا النوع من التذكُّر مطلوب في التعلُّم بالمكافأة اللاحقة. وعندما راجعنا تشبيه "المخزن " وهو تشبيه بديهي ـــ فما عسى أن تكون الذاكرة الإنسانية ؟ ـــ من الصعب القضاء على ذلك، كما ناقشنا أيضا بعض معوقاتها. كما أننا ألقينا نظرة على مسألة الاطار المرجعي المطلَّة في بحث الذاكرة: وعلى الرغم من ان (التعليم بالقائمة list - learning: السلوك في تجربة يمكن وصفه بصورة مناسبة من قبل مراقب للتخزين والاسترجاع، ولايجب ان نعتمد هذا كأساس لنموذج الآلية الكامنة وراء السلوك. وهذا قد يكون ـ إذا استعرنا واحدة من تشبيهات بل كلانسي (Bill Clancey)، مثل وصف عمل الكاميرات بناء على مخرجاتها في التصوير (كلانسي، Clancey، 1991م). إن أفضل تصريح لمشكلة الإطار المرجعي في سياق بحث الذاكرة المأخوذ من آشبي، الذي وصف التذكر على أساس أنه ذلك البناء النظري الذي يشارك في ربط سلوك الكائن الحالي الملاحظ مع أحداث وقعت للكائن في الماضي. كما أننا عبَّرنا عن حريتنا بعرض عدد هائل من مبادئ الذاكرة

المختلفة التى تم عرضها في المؤلفات السابقة. إن منظور الكائن المتكامل يقترح أن كل هذه المبادئ ما هي إلا آراء مختلفة عن الكائن المتكامل، وعليه فلا يجب البحث عن ذلك " الشيء" ـ المعروف بالذاكرة ـ داخل الكائن.

بعد ذلك طبَّقنا مبادئ التصميم على بحث الذاكرة. إن مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقةومبدأ الكائن المتكامل يرتبطان مباشرة بمنهج التفاعل البيئي ويعتمد بشدة على سياق التبعية في الذاكرة. ومن ثم ألقينا نظرة على التناسق الحسي - الحركي، الطريقة التي يتم بها توليد الحافز الحسي من خلال التفاعل مع العالم الخارجي؛ ان التفاعل الطبيعي للذاكرة، والاعتماد الشديد للذاكرة على الوضع الحالي؛ وفكرة التصنيف في الذاكرة، هي نموذج مقترح بديل للتذكر من قبل إيدلمان (Edelman). وكذلك تفحصنا مبدأ الإستجابة ـ و ـ التنوع، والتصميم الزهيد، والتوازن البيئي، والتي أدت إلى فكرة التنصيب، وبربط ذلك مع فكرة إفراغ مفاهيم الذاكرة في البيئة. وهي ظاهرة تؤيد فكرة أن الذاكرة ليست " شيئا " داخل رأس الكائن ولكنها شيء يشمل الكائن وبيئته معاً. وأخيراً، مرة أخرى نعود إلى مبدأ الإطار المرجعي، ومبدأ التوازن، وعمليات الاقتران الحر، والتكرار التبادلي،

والتي قادتنا إلى فكرة التذكُّر التوزيعي والبناء الديناميكي، ونماذج الجذب.

وحتى نختم موضوعنا نحن بصدد التخمين قليلاً عن الرؤى الممكنة والمواضيع البحثية التي قد تتولد من خلال تطبيق مبادئ التصميم والتي توجه البحث في هذا المجال.

أولاً، بإمكاننا تعلم الكثير عن الذاكرة من خلال المنهج التركيبي من تجارب الروبوتات. ولنأخذ تجربة الفأر الاصطناعي لبوفيت والتي كشفت عن ظاهرة مذهلة حقاً. وعلى الرغم من أننا يجب أن نكون حذرين عند نقل الرؤى من تجارب الروبوت إلى البشر أو الأنظمة الحيوية عموماً، فإنه في بعض المستويات التجريدية غالباً ما يمكن إيجاد مبادئ يمكن حقاً تطبيقها في علم الاحياء. إن فكرة افراغ جزء من وظيفة الذاكرة كمصادفة، وخاصية بيئة الخلايا العصبية مبدئياً يمكن أن تتحقق لدى الروبوتات، والحيوانات، والبشر.

ثانياً، طرحنا سؤالاً في عنوان هذا الفصل، أين الذاكرة؟. إنه السؤال الذي لفت كثيرا من الانتباه. إن منظور الكائن المتكامل مجتمعاً مع فكرة الاطار المرجعي يمكناننا من دراسة مبادئ تذكرية مختلفة، مثل الذاكرة الفصلية، العاملة، الدلالية، وذاكرة السيرة الذاتية ـــ

وكذلك وظائف نفسية أخرى مثل الانتباه، والإدراك، والتخطيط، حل المشكلات، والتأمل— جميعها مناظير مختلفة للكائن المتكامل، بدلاً من "الأنظمة" المنفصلة التى يمكن تواجدها في الدماغ. إن دراسات التصوير التصوير) FMRI الدماغي الحديثة بإستخدام أجهزة بالرنين المغناطيسي: functional magnetic resonance imaging) و PET التصوير) المقطعي الانبعاثي بالبزيترون positronemission tomography:) على سبيل أثبتت الترابط الوثيق، المثال، ان هناك تداخل قوي لمهام نشاط الدماغ التي من المفترض أن تتضمن الانتباه، الذاكرة العاملة، الذاكرة الفصلية، الوعي (لأمثلة أنظر: ناغافي ونايبرغ، 2005م، Naghavi and Nyberg)؛ دعمت هذه النتائج فرضيات الكائن المتكامل أيضاً. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت دراسات FMRI في مهمات الاسترجاع أن الذاكرة الفصلية تتميز بطبيعة توزيعية قوية ولا يمكن حصرها في منطقة دماغية معينة، مما يؤيد الاقتراح بأنه لا وجود ل" صندوق الذاكرة العرضية: episodic memory box " بداخل الدماغ، ولكن مصطلح التذكر العرضي أو الذاكرة الفصلية يعود إلى نظرة معينة لمجموعة من سلوكيات الكائن المتكامل — الاشخاص

الخاضعين للتجربة ـــ التى تم بحثها في هذه التجارب. بينما تكون المناطق العقلية المتطلَّبة في السلوك والمرتبطة بالذاكرة الفصلية موزعة. بينما هناك مناطق موزعة في الدماغ تتضمن السلوك متعلقة بالذاكرة العرضية، حيث ان هناك ايضاً مواضع معينة. بعض مناطق الدماغ تتضمن مهام الذاكرة الفصلية اكثر، على سبيل المثال، مهام القراءة. في الفصل الخامس ناقشنا مفهوم (الإحساس والذاكرة :hippocampus) وهي منطقة في فلقه من الدماغ يعتقد أنها تقوم بدور مهم في تشكيل الذاكرة طويلة الأمد، وقد كان ذلك في سياق تجارب الاحساس بالمكان في الفئران واتجاه خلايا الرأس، واشرنا أن هذا المفهوم أساسي في تشكيل الذكريات. على كلٍ، فإن التغير المعرفي، وحديثا ذكرت العديد والعديد من البحوث أن" دور ال hippocampus مبالغ فيه". (نيث وسيربرينانت، Neath and Surprenant) ،2003 م: ص195
.وهي عبارة مترابطة مع دراسات تصوير الدماغ الحديثة
يوضح هذا التراجع أن من المهم ألا نبالغ في تفسير نتائج الدراسات التصويرية للدماغ. فمن ناحية، ما نراه فعلا هو الفرق بين الحالة المحايدة (كأن لايكون للشخص الخاضع للتجربة مهمة محددة)، وشرط التجربة (أن

يؤدي الخاضع للتجربة مهمة التعليم بالقائمة)، وتعتمد هذه الاختلافات على طريقة محددة، كحد أعلى 5%. والباقي 95% من التنشيط يكون في نفس المستويات العالية في كلتا الحالتين!. كما حذرنا غافي ونيبرغ عام (2005م) من الحماس المبالغ فيه بمقالتهما المكثفة حول تقريرهما الشامل عن الدراسات التصويرية للدماغ والانتباه والتذكر والوعي بتصريحهم " إن التقنيات التصورية لوظائف خلايا الدماغ العصبية من الممكن أن تحدد الاتفاق بين منطقة نشاطات الدماغ مع المطالبات العقلية المحددة. وذلك بقولهما" أن الدراسات التصويرية لوظائف الدماغ يمكن أن تحدد أفضل مناطق نشاطات الدماغ مع طلبات ادراكية محددة. وهذه الطرق لايمكنها تحديد أي مناطق ضرورية لعملية إدراكية محددة".

ولكن أين هي الذاكرة، اذاً ؟ أجاب نيث وسيربرينانت (Neath and Surprenant):" إن السؤال الأساسي عن موقع الذاكرة يظل بدون إجابة. وعلى كل حال، فعلى ما يبدوا إن الجمع بين التخزين المحلي والتوزيعي يقدم لنا حلاً جوهرياً" (2003م). وسوف نضيف قد لا نكون طرحنا السؤال الصحيح: إذا كان التذكُّر تركيباً نظرياً بدلا منه " شيء " فإن البحث عنه عمل لا جدوى منه. إن ما نسميه ذاكرة هو عبارة عن

تغير في السلوك، وأسسه ليست موجودة في الدماغ فقط. حيث أن تغير السلوك هو نتاج عن تغير في الدماغ، والجسم (التركيب، والمواد)، والبيئة. إذن فنحن عندما نسأل أين هي الذاكرة؟ يجب علينا البحث ليس فقط داخل الدماغ وإنما إلى ايجاد روابط محددة بين الكائن، ومهمته، وبيئته. تعلم الفأر الاصطناعي لبوفيت مهمته اللاحقة بالمكافأة ـــ فغير من سلوكه بطرق مذهلة. ولكي يتمكن من القيام بهذا استخدم الجدار الأحمر في البيئة على أنه تنصيب. وإذا نحينا الجدار الأحمر جانباً، فإن الفأر لن "يتذكر" الحل أبدا. لهذا فإن "ذاكرة" الفأر الاصطناعي في هذه التجربة لا تتكون فقط من في شبكة الأعصاب (synaptic :تغير(التشابكات الدماغية NN، ولكنها أيضاً تشمل نظام التفاعل البيئي.

ثالثا، بالرجوع الى النقطة السابقة، خلال هذا الكتاب ركزنا على الطبيعة الحسية - الحركية للذكاء والسلوك. إن المهمات التي تم بحثها عادة في مجال الذاكرة وتقنيات تصوير الدماغ وتسمى المهمات الإدراكية، وهي مهمات من المفترض حدوثها "داخل" دماغ الشخص الخاضع للتجربة لذلك فهي تتطلب حد أدنى من التفاعل مع العالم الحقيقي. وبعبارة أخرى، ليس هناك نوع معين من الإقتران الحسي الحركي الضروري لأداء هذه المهمات.

وهذا جزئيا يعود الى محدودية التقانة الحديثة وجزئياً الى الإطار النظري المحدد المعمول به في بحث الذاكرة وعلم النفس الإدراكي بصفة عامة. وسيكون من المدهش حقاً، لو توفرت لدينا تقنية تصوير متحركة للدماغ بحيث أن التسجيلات يمكن أن تتم بموازاة مع ما يقوم به الشخص الخاضع للتجربة من مهمات اثناء تفاعله مع العالم الحقيقي. بالإضافة إلى ذلك، لو حققت هذه التسجيلات في ذات الوقت التى يتحرك فيها الجسم بإستخدام معدات لالتقاط الحركة، أو تسجيل تاريخ الفسيولوجية بإستخدام حاسبات كل مكان، عندها قد نتمكن من اكتشاف ارتباطات مثيرة.

رابعاً، إن تقنيات حاسبات كل مكان سوف تستخدم بتوسع أكثر في تجارب التذكّر في المستقبل القريب. ولنأخذ بعين الاعتبار مثلاً عمل جيم غيميل (Jim Gemmell) من بحث مايكروسوفت: (مقتطفاتي MyLifeBits: الحياتية من دكان حياتي التخزين مدى الحياة (جمل وآخرون، Lifetime Store) Gemmell et al)، 2006م)، يمكن هذا النظام الشخص من تسجيل افتراضي لكل ما يحدث في حياة الإنسان، ـــ مثل الصفحات الالكترونية، المحادثات الهاتفية، الموسيقى، التلفاز، والبيانات الفسيولوجية ـــ

وذلك باستخدام تقانة يمكن لبسها. وهذا قد يعطينا أعدادا لدراسة الذاكرة الذاتية بدقة. من خلال هذه المواد، نستطيع الوصول ليس فقط الى ذاكرة الاسترجاع الشخصي للفرد ـــومن الممكن أن نتعرف على تقارير أشخاص آخرين ايضاً ـــ بل كذلك إلى البيانات الشخصية والمسجلة من خلال (المنظور البيئي التفاعلي: situated perspective)!

إن مجال البحث في الذاكرة الإنسانية شديد الاتساع، وليس من المنصف تغطية جميع الأعمال الهامة التي أُنجزت في هذا المجال. ونحن نحاول استعارة الأفكار من مجالات أخرى وثيقة الصلة بموضوعنا ـــ علم النفس وعلم خلايا الأعصاب، والتصوير الدماغي، والأنظمة الديناميكية، وعلم الروبوتية، وعلم الذكاء الاصطناعي ـــ وذلك للمساعدة في دراسة الذاكرة، ولكن عملنا هذا لايزال يفتقر إلى وضوح مبدأ المستودع أو المخزن. ومع ذلك، فنحن نفضل الاستمرار بهذه الفكرة، على الرغم من غموضها، فمفهومها واضح وبسيط، وقد ثبت أنها غير ملائمة في العديد من النواحي.

الفصل الحادي عشر
تقانة الروبوتات في حياتنا اليومية

في أكتوبر من عام 2004 م، وتحديداً في قاعة مؤتمرات هيتوتسوباشي (Hitotsubashi) القريبة وسط (Park Imperial) من الحديقة الإمبراطورية طوكيو، لخص يوشيو تسوكيو (Yoshio Tsukio)، البرفسور السابق في جامعة طوكيو، و أحد القادة في مجال الرؤى التقنية المستقبلية في اليابان، أهم المشكلات التي تواجه الكائن البشري في أوائل القرن العشرين وذلك في مقدمة محاضرته في مؤتمر " العيش مع الروبوتات: التعايش بين الانسان والروبوت: Living with Robots—Symbiosis of Robots and Human Beings". وقد ذكر إثنان من أهم تلك التحديات وهي شيخوخة السكان (خاصة في اليابان، حيث أنه سيكون أكثر من 25% من السكان فوق عمر 65 مع حلول عام 2020م) وظاهرة الإحتباس الحراري في العالم. وقد اقترح عددا من الطرق والحلول العلمية التي يمكن استخدامها في معالجة هذه المشاكل: تقانة "المعلومات، التقانة المتناهية الصغر "النانو (nanotechnology)، علم:brain (الدماغ

وما سماه بحدود التعايش ،(science
والذي يركز على حياة "symbiosis frontier"-
الإنسان جنباً إلى جنب مع المصنوعات اليدوية —
وخاصة تقانة المعلومات والروبوتات — والتي كانت
الموضوع الأبرز في المؤتمر.

منذ حوالي الشهر تقريباً من نشرالكتاب، نظم تاكاشي
ما سوياما (Takashi Matsuyama) من جامعة
كيوتو (Kyoto University) ورشة العمل الدولية
الثانية في أنظمة التعايش بين الانسان والآلة
(Second International Workshop on
Man - Machine Symbotic Systems).
وجاء في الموقع الالكتروني لهذا المؤتمر أن" الهدف من
ورشة العمل هذه هو مناقشة آخر المستجدات في تقنيات
التفاعل بين الإنسان والآلة التي توظف النماذج متنوعة
الوسائط والتفاعل الديناميكي بين البشر والآلآت". مرة
أخرى، لقد كان الهدف هو اكتشاف إمكانية عيش الإنسان
جنبا إلى جنب مع التقانة، وخاصة تقانة المعلومات
والروبوتات، بدرجة أكثر مما نحن عليه الآن. وللعديد من
الناس في الغرب تعتبر هذه الفكرة إلى حد ما غير مريحة
لأنها تشير إلى اعتماد الانسان الشديد على التقانة؛ بينما
في اليابان ينظر إلى التقانة غير المألوفة بصورة ايجابية.

وللتأكد، فإن هذا الاعتماد على التقانة له تاريخ طويل وقديم، وقد نما بشكل كبير منذ القرن الماضي: ولنتخيل كيف تكون حياتنا من دون البريد الالكتروني، والهاتف الخلوي، والتلفاز، والسيارات، والراديو. ولكن ربما مع ظهور الروبوتات الذكية، قد تأخذ العلاقة بين الإنسان والتقنية بُعداً نوعياً جديداً. وقد بدأنا حديثنا بالفعل عن تلك المعايشة ــــالتفاعل السلس للبشر مع عالم المصنوعات اليدوية ـــ وذلك في سياق حديثنا عن الاستعمال لحاسبات كل مكان، ولكننا سنتناوله من زاوية أخرى في هذا الفصل: كيف سيرتبط الإنسان بالربوت في المستقبل القريب؟

إن هدفنا من هذا الحديث ليس التنبؤ و التكهن ـــ حيث نترك ذلك للمنجمين – (نحن نقف جنباً إلى جنب مع الفيزيائي الفذ الحاصل على جائزة نوبل نيلز بوهر (Niels Bohr): " إنه من الصعب التنبؤ وخاصة بالمستقبل" ولكننا نرغب في عرض كيفية تطبيق مبادئ التصميم في الأنظمة الذكية لتقديم بعض الأسس المنطقية في المجال متسارع النمو وهو تقانة الروبوتات. وعلى ما يبدو فإن تقنية الروبوتات الذكية كان لها النصيب الأوفر من الاهتمام في هذا الكتاب، جنباً إلى جنب مع مفاهيم الإتصالات للباحث الرائد كين سكامورا (Ken

والتي ناقشناها في الفصل الثامن، (Sakamura
وسوف توفر الأساس لعلاقة التعايش للانسان مع الالة في المجتمع المستقبلي.
في هذا الفصل سوف نمضي على النحو التالي. أولاً، سوف نلقي نظرة عامة على مجال الروبوتات الذكية وسنناقش كيف ستصبح هذه الروبوتات جزءا من حياتنا؛ وهذا ليس تساؤلاً عن تحقيق ذلك أم لا فقد حصل ذلك بالفعل. بعد ذلك، سنناقش بعض التطبيقات والتى، كوننا كائنات بشرية، سوف نواجه مباشرة مع هذه التقانة الروبوتية في هيئة الروبوتات المصممة لإدارة الأعمال المنزلية. ثم سننتقل إلى التسلية والروبوتات الأليفة وسنتطرق إلى الروبوتات الطبية، والعلاجية، والإنقاذية. وسنتبع ذلك بنقاش حول أهم موضوع في الروبوتات الذكية: ابتكار الروبوتات شبه البشرية المرافقة والقادرة على التواصل الاجتماعي وفهم التعابير الوجهية والجسدية. وسوف نسلط الضوء على مبادئ التصميم بالمقارنه مع أكثر الروبوتات تقدماً في جميع أنحاء العالم. وسنختتم بحثنا بملاحظات نظرية عن الروبوتات الأكثر تطورا كنماذج للسلوك الإنساني أو الحيواني.

11.1 مقدمة: الروبوتات اليومية

إن مجال الروبوتات الذكية غني ومتنوع بشكل هائل، ولا يمكن الإلمام بهذا الموضوع بشكل تام. لذلك سوف نكون في بحثنا هذا انتقائيين، وسنحاول اختيار الأمثلة النموذجية التي تعرض الروبوتات الحديثة من منظور مبادئ التصميم. أيضاً ليس من الممكن تصنيف هذا المجال لأن هنالك العديد من الطرق المختلفة لتقسيمه. على سبيل المثال، قد نقوم بتصنيف الروبوتات بشكل بديهي بناء على درجة الذكاء (كيف هي مختلفة في سلوكياتها وكيف تستطيع استغلال بيئتها بالشكل الأمثل)، أو بناء على تشابهها مع البشر. وهذه التصنيفات ستهيمن عليها الروبوتات شبه البشرية، الكثير منها تحدثنا عنه في فصل الروبوتات التطويرية. ومن الممكن أن نصنف الروبوتات بناء على المهمة المصممة من أجلها، مثل روبوتات الصناعة (الإنتاجية والتحويلية، والتجميعية، والتعبئة والتغليف) أو روبوتات الخدمة (توصيل الوجبات وتوصيل البريد،و فحص أنابيب مياه التصريف،و المساعدة في المنازل والمستشفيات). الروبوتات الصديقة أو المرافقة وهي قريبة من روبوتات الخدمة، ولكنها تختلف عنها بحيث أنها لا تكتفي فقط بأداء الشئون المنزلية (غسل الأطباق، والكنس الكهربائي، وإعداد الوجبات، وغسل الملابس) ولكنها

بالإضافة إلى ذلك تجري محادثات، وتذكر صاحبها بمواعيد المستشفيات والتمارين، وتخطط لبرامج ترفيهية ونشاطات في الهواء الطلق، وتقترح وجبات وتقدم المشروبات المرطبة وغيره. هناك صنف آخر من هذه الأجهزة هو الروبوتات الطبية مثل: (الأطراف الاصطناعية)، أو أجهزة تقويم العظام، اجهزة مساعدة - للقوة (أجهزة تستخدم لدعم وتحسين الأجزاء الضعيفة أو المشوَّهة في الجسم). وترتبط الروبوتات المرافقة بالروبوتات المسلية، والتي هي ربما أقدم نوع من الروبوتات: حاول الناس منذ العصور الوسطى إعادة إنتاج السلوك الحيواني أو الإنساني في الأجهزة. ومن أشهر الأمثلة الأوروبية البطة الآلية والروبوت عازف المزمار لجاك دوفا كانسو (Jacques de Vaucanson)، الروبوت الكاتب الرسام المطور من قبل بيير جاك دروز (Pierre Jaquet - Droz) وابنه هنري لويس (Henri - Louis) وذلك في القرن الثامن عشر في مدينة لاكودي فون (La Chaux - de - Fonds) في سويسرا. وكلاهما معروض الآن في متحف نيوشاتل (Neuchatel) بسويسرا. ومن التفاصيل الممتعة عن البطة الآلية لدوفا كانسو هي قدرتها على التقاط الحبوب، وهضمها ومن ثم التخلص

منها في نهاية عملية الهضم. في أسيا، هناك حرفة تقليدية لبناء الدمى المسلية — تسمى كاراكوري نينجيو(Karakuri Ningyo) — وقد نمت هذه الحرفة في اليابان خلال عصر Edo (1603- م 1867م) من خلال الكثير من التجار الاثرياء. وقد كانت كاراكوري نينجيو، مثل إبداعات جاك دوفا كانسو الآلية، فقط لأغراض التسلية.

ومما لاشك فيه، أن الروبوتات سوف تصبح جزءاً من حياتنا — أوقد أصبحت — بالفعل جزءا منها. سواء أقبلنا هذه العبارة كحقيقة أم لا فهذا يعتمد، بالطبع، على ما نقصد بكلمة روبوت. من الواضح أنه ليس هناك بعد روبوتات ذكية شبه انسانية تتفاعل مع البشر في الحياة اليومية، ولكننا نجد العديد من الأجهزة المزودة بالكثير من خصائص الكائن - الذكي في معظم الأحيان. وكما أوضحنا سابقاً عند مناقشة تقنيات حاسبات كل مكان والحيوروبوتية، فإن مصطلح "روبوت" لا يمكن — ولايجب — تعريفه تماماً؛ فما زالت لدينا العديد من الأفكار عن كيفية استخدامه. وبدلاً من تقديم تعريف للمصطلح، فمن المثير حقاً تحليل إلى أى مدى يتوفر روبوت ما على خصائص كائن وما إمكانية توافقه مع مبادئ التصميم.

ولتوضيح هذه النقطة، فلنأخذ مثالين من الروبوتات، الروبوتات الصناعية والنظم المتضمنة. إن الروبوتات الصناعية تمتلك قدرات محددة لكائن ما لأن لديها عدد محدد من الإستشعارات، كما أنها غير قادرة على استغلال بيئتها الفيزيائية، وهي ببساطة مبرمجة لأداء مهمات محددة، مثل تجميع محركات السيارة من أجزاء أساسية في خطوات الانتاج التجميعية، وتركيب الأجزاء الالكترونية في لوحة الدارة الكهربائية المرسومة، أو وضع الحلويات في علب. بمعنى آخر، فهي لديها مقدرة محدودة لاستغلال تشكيلها الجسدي، كما ان سلوكها نابع عن المصمم الإنساني بدلاً من انبثاقه عبر نظام تطوري أو تطويري. وكأمثلة على الأجهزة المتضمنة، هناك أجهزة نظم مراقبة نوعية الهواء في المباني، وأنظمة تعبئة الوقود في السيارات، ونظم المراقبة في محطات غسيل الأجهزة وغيرها من الأجهزة المنزلية (أنظر الفصل الثامن) وهناك أنواع أخرى للأجهزة الروبوتية. وعلى الرغم من ان لها من صفات الكائن كونها مزودة بنظم إستشعاراية ولديها المقدرة في التأثير على البيئة، إلا أنها قليلة الشبه بالروبوتات وذلك لأن قدرتها الميكانيكية ـــوكذلك قدرتها التحريكية ـــ محصورة ومقيدة: فهي لا تملك أذرع مثل الروبوتات الصناعية ولا

تتحرك ذاتياً، مثل الروبوتات المتنقلة. لذلك، فهي محدودة ومقيدة في كيفية مقدرتها لاستغلال فيزيائية العالم الحقيقي من حولها. ولنلاحظ الاختلاف بين جهاز كشف الحرائق المثبت على الحائط والآلية الحسية - الحركية الغنية نسبيا للكلب الروبوتي "بابي". بديهياً، كلما زاد اكتساب الأجهزة المتضمنة لخواص الكائن، كلما امكننا اعتبارها روبوتات وليس فقط مصنوعات يدوية.

إن الروبوتات والمعدات الروبوتية، أياً كان تعريفها، فهي تشق طريقها نحو الدخول في شتى مجالات حياتنا. وفقاً لمطبوعة عالم الروبوتات (World Robotics) 2004م، وهي مطبوعة على شبكة الكومبيوتر للمجلس الأوروبي للدول الاقتصادية الموحدة (United Nations Economic Commission for Europe). هناك حوالي 800,000 ثمان مئة ألف روبوتاً صناعياً حول العالم (غالباً نصفها في اليابان)، ومليون روبوت آخر للتسلية والالعاب الروبوتية. ويشير التقرير بأن هناك خمسة مليون روبوتاً سوف يؤدون مهام خدمة الشئون المنزلية (معظمها للكنس الكهربائي وجز الحشيش)، ومليون روبوتاً مسلياً. وتتنبأ التقرير إلى وجود 5 ملايين روبوتاً لأداء المهام المنزلية بنهاية عام 2007م، وتقريباً حوالي 3 ملايين روبوتاً لأغراض

التسلية. وصرح أيضاً التقرير إلى وجود حوالي 75 ألف روبوتاً مختصاً بالخدمات الزراعية، ومهن التنظيف، والتفتيش، والبناء، والهدم، والطب، واطفاء الحرائق، وما يقارب الى 25ألف روبوتاً شبه بشري بنهاية عام 2007م. " الروبوتات سوف تستمر في إستلائها — وليس لأحد منا أن يوقفها! "أعلن ذلك الصحفي جون سوت (John Soat) في ردة فعله عن تقرير عالم الروبوتات في 2004م في مقالة معلومات الأسبوع (Information Week) 2004م. نحن هنا لا نقيِّم هذه الرغبة في التطوير، ولكننا سنناقش أمثلة متنوعة عن روبوتات موجودة وذلك في ضوء مبادئ التصميم للنظم الذكية. ونحن نشعرأنه إذا ما أخذت هذه المبادئ في الحسبان، فإن مفهومنا للذكاء بشكل عام سوف يزيد، وكذلك معدلات الروبوتات المصممة، والمصنَّعة التى سوف تظهر في حياتنا اليومية ستكون بصورة أكثر تسارعاً.

11.2 المنظفين الآليين: رومبا (Roomba)، وانواع مشابهة، (Trilobite) تريلوبيت

كما ذكرنا في الفصل الأول، فإن المعنى الأصلي لكلمة روبوت يعنى تقديم عمل للبشر. رومبا (Roomba)، انتجته شركة رودني بروكس، الروبوت الذكي

(iRobot) وتريلوبيت ووتر بلوبيت (Trilobite)، هي ،(Electrolux) الذي صنعته شركة إلكترولوكس واحدة من أكبر الشركات المنتجة للأجهزة، وهما روبوتان منظفان. وقد صرح المستهلكون بأنها اجهزة نافعة وانها تقوم لمالكيها بإنجاز العديد من الأعمال، خاصة تلك الحيوانات الأليفة المغطاة بالفرو كالقطط والكلاب. رومبا، الذي يُشغَّل بواسطة جهاز التحكم، يبدأ الحركة بنمط لولبي، وينظف اثناء تحركه، مستغرقاً وقتاً اطول في تنظيف البقع المتسخة، حتى ينهي مهمته. وتلقائياً، يذهب إلى موقع الشحن عندما تشرف البطارية على الانتهاء، ويعود مرة أخرى للتنظيف حتى انتهاء الشحن، وهذه عملية مستمرة ومتوقعة من كائن لديه اكتفاء ذاتياً. أما تريلوبيت، فإنه يختلف في التفاصيل، ولكنه يشترك مع رومبا في بعض الخصائص. فكلا الروبوتين لديهما خصائص الكائن المهمة: لديهما بعض القدرات الحسية — يستشعران الأماكن المتسخة، يجدان موقع الشحن، يتجنبان العوائق، يقيسان مستوى شحن البطارية — كما أنهما يؤثران في بيئتهما، فهما يزيلان الأوساخ ويصدران ضوضاء. وعلى الرغم ان هذه الأجهزة تحقق مستوى معينا من الذاتية، الاَّ أن وعاء

تخزين النفايا لديها صغير ومحدود ويحتاج إلى تغيير منتظم من قبل الإنسان المُشغِّل للجهاز.
وقد لاقى رومبا الكثير من الاهتمام الإعلامي وذلك لاعتباره الروبوت الأول المستخدم في المنازل، وهو بهذا أطلق ثورة الروبوتات الحقيقية. ويجب ألا نستهين بإمكانات المخلوقات الخنفسائية الشكل: سوف تستمر في التطوير وسوف تصبح أكثر إثارة وفائدة مع مرور الزمن. على كل حال، فإن خصائص الكائن في رومبا والروبوتات المشابهة محدودة جداً. إن البيئة المحيطة المخصصة ومهمة البيئات دائماً ما تكون شديدة الحصر (وهذا سبب زهد التصميم نسبياً، على الاقل في حالة رومبا). إن الروبوتات المصممة لأداء مهمات تنظيفية بسيطة ومحدودة لن تتطلب بُنَى معقدة وسلوكيات متنوعة، وذلك وفقاً لمبدأ التوازن البيئي. ولأن رومبا ومثيلاتها منتجات تجارية، فإن محركاتها الداخلية ليست معروفة تماماً، ولذلك يصعب معرفة أي مبادئ التصميم طُبِّقت، والى أي مدى، ولذلك لن نستمر في مناقشة ذلك هنا. ومن الجدير ذكره أنه وللمرة الأولى لدينا روبوتات متنقلة تشارك الإنسان حيزه من الفراغ وتؤدي مهامها النافعة يومياً.

11.3 الروبوتات المسلية

على الرغم من أن رومبا وتريلوبيت يمكن أن يكونا مصدرا للتسلية، فإنهما صُمِّما ليكونا مفيدين. من جهة أخرى، فإن الروبوتات المسلية، تكمن قيمتها في مجرد وجودها. ولقد تطوَّر عدد هائل من الروبوتات المسلية، وبنتائج مختلفة، ومن المجدي النظر إليها من خلال منظور مبادئ التصميم. وعلى الرغم من أنها مسلية جداً، إلا أننا لن نناقش لعبة بسيطة مثل تاماغوشي (Tamagochi) وهي لعبة افتراضية تعيش وتنمو داخل أجهزة حاسوب محمولة) أومثل فيربي (Furby) وهي لعبة متحركة) وذلك لأن خصائص الكائن المتوفرة) لديهما محدودة جداً. عوضاً عن ذلك، سوف نركز على أمثلة أكثر تعقيداً مثل أيبو (AIBO)، والذي هو النموذج المثالي للروبوتات المسلية.

الروبوت الحيواني الاليف أيبو

" ذكي بشكل ملفت، ممتع للغاية، وذو مهارة عالية"، كما أنه يُشَغِّل الشعار المنشور في صفحة سوني الألكترونية لأيبو. وبالنظر إلى السلوك المتنوع لهذا الروبوت الذي يشبه الكلب والذي يبلغ طوله 20 سم لا يمكن للإنسان إلا أن يقف مذهولا أمام هذا الابتكار العلمي: هذا الروبوت يستطيع التعرُّف على الأجسام في محيطه، ويستطيع الحركة بشكل مثير، كما أنه يتفاعل مع

المستخدم بأسلوب متصل. في معظم الأوقات، يجد المستخدم التعامل مع هذا الروبوت مسليا وممتعاً، لذلك فإننا نعتقد أن يصبح هذا النوع من الروبوتات أكثر شعبية. وُلِدَ أيبو عام 1999م ووُصِف بأنه "أمتع روبوت على الإطلاق" وقد تطور منذ ذلك الحين بنجاح حتى وصل إلى درجة مثيرة من التقدم. ودعونا الآن ننظر باختصار إلى أيبو من منظور مبادئ التصميم.

يمتلك أيبو حوالي عشر درجات من حرية (التشغيل أو التحريك: actuation) وعدد من الاستشعارات: كاميرا ملونة، الاستشعارات تحت الحمراء، واستشعارات للَّمس في كل من خلفية الرأس، وفي الظهر، وفي أسفل الذقن، وفي المخالب، ولديه أيضاً نظام صوتي مكبر في كلا جانبي رأسه، كما أن نظام المعالجة لديه قوي جداً. ربما قد يكون من السهل مناقشة أيبو بمقارنته مع بابي، فكلاهما روبوتات رباعية الأطراف. إن النسخة المطورة من بابي لديها استشعارات ضغط في أقدامها مثل تلك الاستشعارات الموجودة في مخالب أيبو. ويمتلك بابي 3درجات من الحرية في كل قدم، ولكن نوع حركته أقل تطوراً واحترافية من تلك التي يمتلكها أيبو. وبهذا الإعتبار فإن بابي يستطيع انجاز عدد أكبر من العمليات الحاسوبية البنيوية من خلال نظامه الحركي اكثر من

أيبو. بعبارة أخرى، إن انماط حركة أرجل بابي أكثر بكثير تعقيداً من الأوامر المرسلة إلى المحركات؛ في أرجل أيبو. من جانب آخر، جميعها يتم التحكم بها من خلال معالج صغير. عندما يتحرك أيبو، يُولِّد هذا محفزا حسيا في مخالبه، وفي استشعارات السرعة لديه، وكاميرته، واستشعارات السمع لديه، وهذه المحفزات خاصة تلك المندفعة من القدم يمكن استغلالها لضبط نمط المشي. ولكن بابي أكثر توازناً بيئياً من أيبو وذلك بسبب توفر نظام تحكمه السهل المرتبط بالعضلات الاصطناعية في بنيته التركيبية. أما التنوع السلوكي لدى أيبو، من جانب آخر، فهو أكثر فعالية: وهو قادر على أداء أنواع مختلفة وكثيرة من السلوكيات. ولكن أيبو لا يستغل بيئته المحيطه بفعالية تامة بسبب آلية جسمه، وذلك على الرغم من أن لديه درجات عديدة من الحرية والتي يصعب استغلالها بالكامل: جميع التحركات مبرمجة، والتوازن الذاتي غير مستخدم، ويتم التحكم بنظام من الأعلى إلى الأسفل. هذا كله يحتاج إلى الكثير من العمليات الحاسوبية. وحيث أنه يمتلك العديد من النظم الاستشعارية المتنوعة — كاميرات، واستشعارات تحت الاشعة الحمراء، واستشعارات السرعة،و استشعارات سمعية — فهو قادر مثلا، إذا تعطلت استشعارات البصر

التعويض عنها من خلال استغلال الاستشعارات تحت الحمراء لديه، والتى على الأقل تفيده في تجنب العوائق —— وهناك امكانية قوية لأيبو في تطبيق مبدأ التكرار التبادلي: حيث يستطيع أيبو الاستمرار في وظيفته حتى لو فقد بعضاً من قنواته الحسية. لابد أن يكون واضحاً من هذا النقاش بأن ليس هناك ماهو "أفضل" أو "أسوأ"؛ إن فائدة أي روبوت تعتمد على الهدف الذي اراده له المصمم: صُمِّم بابي، من ناحية، للحركة السريعة و التوازن الذاتي، بينما صُمِّم أيبو لتقديم التسلية للأطفال (وربما حتى البالغين). وإن كانت الحركة السريعة ليست هي الهدف الأساسي، فإن مبادئ التصميم قد تستخدم لزيادة قدرات الروبوتات على التسلية: وعلى سبيل المثال، فإن مشية أيبو، والتي هي غير طبيعية وقد تكون محببة لدى البعض، يمكن تطويرها وذلك باستغلال العمليات الحاسوبية للشكل الجسدي.

أما سبب كون معظم الروبوتات المطوَّرة —— التي تمتثل إلى مبادئ التصميم في الأنظمة الذكية —— هي في مجال التسلية هو أنه لايهم ما إذا كانت توقفت عن العمل أو فشلت. ومن الممكن اعتبار الفشل مسلياً، بينما الروبوتات المصممة لمهمات مفيدة يجب أن تعمل بوثوقية، على سبيل المثال في التطبيقات الطبية، في

بيئات المصانع، وأثناء عمليات الإنقاذ وإن كان عملها روتيني وممل.

الروبوت العلاجي بارو

قبل سنوات مضت، خطرت ببال صانع الروبوتات الحاصل على العديد من الجوائز، تاكانوري شيباتا (Takanori Shibata)، من معهد الأبحاث الياباني الضخم ايست AIST)) في تسوكوبا (Tsukuba) مدينة العلوم والتي تبعد حوالي ساعة عن طوكيو فكرة هائلة. والأدهى من ذلك أنه استطاع الجمع بين فكرتين أساسيتين. من المعروف، كما إعتمد شيباتا أن الحيوانات الأليفة تُحَسِّن من أمزجة الناس وخاصة كبار السن والأطفال في المستشفيات[33]. ويضيف أيضاً، إذا كان باستطاعة الروبوتات تسلية الناس، وكانت التسلية مفيدة لأمزجة الناس بصفة عامة، لذلك فعلينا توظيف الروبوتات لتسلية الناس الذين هم بحاجة للتسلية. أضف إلى ذلك، أنه نظرا لاعتبارات النظافة مثل خطر انتقال العدوى أو الإصابة بحساسية، فإن الحيوانات الأليفة لا يمكن استخدامها لهذا الغرض، إذا فالحيوانات الاصطناعية في هيئة روبوتات، قد تكون الحل. ولقد استطاع شيباتا بصفاته الإصرارية أن ينجز هدفه. إبتدأً تمكَّن من تصميم MIT في مختبر الذكاء الاصطناعي في

وبناء روبوت ذو ذيل متحرك واختباره، مع عدد من السيكولوجيين، وقد كان للذيل المتحرك تأثير على الناس: على الرغم من بساطة الروبوت اللامتناهية، فقد أضفى عليه الذيل مظهراً طبيعياً نسبياً، واستثار أحاسيس الكثير من الاشخاص موضع التجربة بشكل إيجابي.

إحدى المشكلات التي تواجه روبوتاً مثل أيبو هي الشبه بينه وبين الكلب الطبيعي، ولأن معظم الناس يألفون سلوك الكلاب، فنحن نتوقع أي نوع من السلوكيات وردات الفعل التى سوف تصدر من هذه الروبوت. لذلك فإن الروبوت الشبيه بالكلب إذا لم يتصرف ككلب طبيعي فإننا سنلاحظ ذلك حالاً. ووفقاً لشيباتا هذه واحدة من الأسباب التي لم تجعل أيبو يحقق شعبية. ولقد قام شيباتا بتطوير روبوت على هيئة هرة، المعروفة بإسم " تاما " Tama: ولقد صرح بأنه فشل في ذلك: ولقد احبط الناس من ردود أفعال هذا الروبوت الهرة لأنها لم تحقق توقعاتهم. لذا حاول تقليد حيوان يعرفه الناس ويحبونه ولكن سلوكه غير معروف جيدا، فطوَّر الروبوت بارو (Paro) المشابه للفقمة و نجح بشكل باهر. (انظر الشكل ب 11.1).

حقق بارو شهرة عالمية كروبوت صغير محبوب، ذو درجتين من الحرية في رقبته، درجة للزعانف الأمامية

ودرجة أخرى للزعانف الخلفية، وحركة ذاتية للجفون. وكان مغطى بفرو أبيض، ويصدر صوتا معيناً، ويتفاعل مع لمس رأسه، ويتحرك بطريقة تفاعلية. وهو أيضا مزود باستشعارات ضوئية، و مكبرات صوت، و استشعار إحساس لمسي. وكانت له شوارب تعمل كاستشعارات لمس إضافية مثلها مثل الفأر الاصطناعي، الذي تناولناه في الفصل السابق. وهو مثل أيبو مزود بنظام كلام والتعرف على الكلام. ولكن بارو لم يكن لديه استشعار بصري، فقد كان مزود بحواس استشعارات للضوء دون الاستشعارات تحت الحمراء. لم يكن شيباتا متحمسا فقط لمشروعه، ولكنه كان ايضاً منظما:



شكل 11.1

ب)) .(Actroid) روبورتات طريفة: (أ) الروبوت المؤنثة الجاذبة أكترويد يشبه الفقمة لتانكوري شيباتا (Paro) روبوت صغير اسمة بارو ويستخدم في البيوت والمستشفيات لكبار السن ،(Takanori Shibata) كوسيلة لتخفيف الضغط والسأم.

وقد وُضِع الروبوت تحت العديد من الاختبارات. ويمكن لعدد من المتطوعين في دور رعاية كبار السن المشاركة في تجربة مع بارو: حيث يمكن لهم اللعب معه مرتان اسبوعياً لمدة ساعة خلال فترة تمتد لعدة أشهر. ثم وزَّع شيبانا استفتاء لتقييم الحالة المزاجية الشخصية لكل متطوع. وقد تبين أن هؤلاء الذين شاركوا في التجربة وجدوا أنفسهم أحسن حالاً وأكثر سعادة من غيرهم الذين لم يشاركوا في التجربة. كما أخذ مقاييس فسيولوجية للمشتركين، مثل تحليل البول وقياسات ضغط الدم، والمثير للدهشة، أن صحة هؤلاء المشتركين تحسنت. شيء مثير للإعجاب والدهشة! نحن نعتقد بأن اليابانيين متحمسون جدا لفكرة الروبوتات لذلك فهم يرحبون بها في حياتهم اليومية أكثر من الأوربيين والأمريكان. على أية حال، قام شيبانا بالسفر حول العالم للترويج للروبوت بارو. وزار العديد من المعارض، كما حاول إقناع المشرفين على دور رعاية كبار السن والمستشفيات باستخدام بارو كوسيلة علاجية مسلية. وبشكل عام كانت النتيجة ايجابية بشكل كبير، كما حاز شيباتا على جائزة التصميم من وزير الرئاسة الياباني.

وعندما نسأل شيبانا لماذا لم يستخدم بارو في جميع دور الرعاية والمستشفيات حول العالم للكبار في السن

والاطفال، يجيب قائلا أن الروبوتات معروضة للبيع الآن عبر الانترنت ولقد بيعت كميات حول العالم وقريبا، كما يأمل، انه سوف يُستخدم من كل شخص: وحسب شيباتا، إنها مسألة وقت ليس إلاَّ. وبالطبع فان التحسينات التقنية مطلوبة وضرورية ولكن الفكرة الأساسية معتمدة. نحتاج الآن إلى نقاش من الناحية النظرية حول النتائج المفيدة المترتبة ـــ مما لاشك فيه أن لبارو دورا في ذلك ـــ وفي الحقيقة ربما بسبب خصائص الكائن الذكي للروبوت التى دخلت في تصميمه، او بسبب إدخال شيء جديد ومسل في حياة كبار السن واصحاب الامراض المزمنة لفترات طويلة في المستشفيات. إن شيباتا مقتنع تماماً بان بارو، على الرغم من انه اقل تطوُّراً من أيبو، إلا أنه نال هذا المستقبل المشرق بسبب اختلافه الرئيسي في التصميم. ولقد اعتمد بشكل ذكي على فكرة ماك فازلاند (McFarland) المرض العضال، من إسناد الخواص البشرية لغير البشر، الذي لايشفى: كما أن الناس يتحمسون لهذا الروبوت بسبب الفراء الأبيض الذي يغطيه ومظهره الطري اللطيف.

إضافة إلى ذلك، استغلَّ شيباتا مبدأ الثلاثة عناصرالمتناهية الدقة بطرق ذكية: اذ لم يركز على تصميم الروبوت فقط ولكن على مهمته في البيئة وتفاعله

مع الناس. على سبيل المثال، استغل شيباتا حقيقة أن الناس قد تفعل أشياء مع هذا الروبوت، فتمسكه، وتضعه في حجرها، وتتكلم معه وغيره. قد لا يكون من الضروري أن ينجز الروبوت الشيء الكثير ليحقق هدف التصميم بتسلية مشتريه. فإذا اختيرت البنية والمواد بشكل صحيح — حيث لَعِبَ شكل الفقمة الصغير والفرو الأبيض دورا أساسيا— مما سوف يسهل الكثير من "العمل" نظراً لتفاعل الناس مع الروبوت. أو نستطيع القول بشكل عام جداً، أن جسم الروبوت سوف يؤدي عمليات حاسوبية للشكل الجسدي بواسطة استغلال التفاعل مع البيئة. لذا، بناء على مهمة الروبوت في البيئة، فإن زيادة استقلاله الذاتي قد لا يكون دائما الحل الأمثل.

إن هدف شيباتا لم يكن أبداً تطوير روبوت ذكي حقاً؛ ولكنه كان أكثر اهتماماً بأنواع من الروبوتات العاطفية التي تتفاعل مع الإنسان. ولقد لاقى مشروعه هذا نجاحاً باهراً. وحده المستقبل هو الذي سينبأنا ما إذا كان هذا المشروع سيستمر، ولكن هناك العديد من الإثباتات تؤكد أن الحيوانات الأليفة هي بمثابة الراحة العظمى لكبار السن، وربما الروبوتات الأليفة تكون كذلك[34]. أيضا، لم يخطط شيباتا لاستبدال مانِحِي الرعاية الصحية

بالروبوتات، ولكن فمن الواضح بالنسبة إليه أن الروبوتات الأليفة كانت قادرة على دعم الناس عاطفيا، بالإضافة إلى العائلة والمهتمين بالعناية بهم. إن فكرة استخدام الروبوتات للأغراض العلاجية — لدعم كبار السن والمعاقين جسديا والمرضى — شغلت العديد من المهندسين حول العالم. وأن تطوير الروبوتات عمل ممتع، وإذا كانت ذات فائدة لمحتاجيها، فإن تطويرها سيكون بمثابة الجائزة الكبرى.

11.4 الروبوتات العلاجية و الطبية وروبوتات الإنقاذ

يتبنى العديد من الباحثين إلى جانب شيباتا فكرة تطوير روبوتات لأغراض طبية وعلاجية. ومدى التطبيقات واسع جداً: هناك برنامج دمى الدببة (teddy bears) الذي يجمع البيانات الفسيولوجية (معدل النبض، ضغط الدم، مناعة الجسم، معدل السكر في الدم) من المرضى؛ وهناك أجهزة تحمل الأغراض الثقيلة وتساعد كبار السن في انجاز المهمات؛ وروبوتات تساعد الأشخاص على النهوض من الفراش، والاستحمام، ودخول الحمام؛ وأجهزة إصطناعية يمكن التحكم فيها مباشرة بواسطة نظام جهاز الخلايا العصبية للإنسان؛ والروبوتات التي تساعد في العمليات الجراحية؛ وما إلى ذلك. إن الغرض

من هذا النوع من الروبوتات ليس الاستغناء عن الإنسان بقدر ماهو تقديم الاستقلالية للمستخدم بقدر الإمكان: فمن المريح حقاً استخدام مصعد بدلا من صعود الدرج بنفسك!. يعتبر هيروشيكا اينوى (Hirochika Inoue) الذي ذكرناه سابقاً، وهو أعظم صانعي الروبوتات في اليابان البروفسور الأول للمهندسين في جامعة طوكيو والموجه للبرنامج الياباني الكبير للروبوتات شبه البشرية الذي أشرنا إليه سابقاً، ويرى بأن المسالة ليست فيزيائية مجردة ولكنها عقلية أيضاً. إذا كان الأشخاص قادرين على المحافظة على استقلاليتهم — ولديهم القدرة على التحرك بحرية دون الاعتماد على الآخرين — فإن ذلك سوف لن يشغل حيزاً من تفكيرهم. إنها حقاً فكرة ممتعة قد تغير من النظرة السلبية لأغلب الأوربيين والأمريكيين نحو هذا النوع من التقانة.

إن هدفنا ليس تلخيص الآثار الاجتماعية لعلوم الروبوتات، بقدر ماهو معرفة أفضل طريقة لتصميم الأنظمة الذكية. وفي العديد من مجالات علوم الروبوتات، لا تكون الأنظمة الذكية الهدف الأساسي. فعلى سبيل المثال، في الروبوتات الطبية —أو العمليات الدقيقة قد يكون هذا المصطلح هو الأنسب — كل مانحتاج إليه هو

دقة عالية من التحكم بدلا من التحكم الذاتي أو أي خاصية أخرى للكائن. ومن المؤكد أننا لا نرغب بوجود روبوتات جراحية تبتكر إجراءات جديدة من تلقاء ذاتها ولكننا نود من هذه الروبوتات ـــ الأجهزة ـــ أن تفعل مايُطلب منها حرفياً. على أى حال، هناك العديد من الروبوتات الذكية في المجال الطبي. مثلاً، هناك الروبوتات شبه الإنسانية تُستخدم لإحضار الدواء للمرضى، وتذكرهم بمواعيد أخذ أى من الأدوية، وتوضح التمرينات المفيدة لهم، وتساعدهم في نزهات المشى، وتسليهم في أوقات الفراغ. إن الروبوتات شبه الإنسانية المرافقة في المنزل والتى لا تستعمل فقط للأعمال المنزلية ولكن أيضاً في المستشفيات ودور الرعاية للمسنين، هو النوع من الإستخدامات الذي سيصبح الزامياً والأكثر شيوعاً.

وهناك نطاق آخر لروبوتات العالم الحقيقي، ترتبط بالمجال الطبي، وهو البحث والإنقاذ. بعد ساعات من الهجوم على مبنى التجارة العالمي في الحادي عشر من سبتمبر 2001 م، قادت البروفسورة المهندسة روبين مورفي (Robin Murphy) من جامعة فلوريدا الجنوبية (University of South Florida) حوالي 18 ساعة حتى تصل إلى مانهاتن (Manhattan) مع ثلاثة من طلبتها المتخرجين

وحوالي 8 روبوتات مختلفة. وعلى الرغم من أنهم لم يجدوا أي ناجين إلا أنهم استطاعوا إرسال الروبوتات إلى حفر صغيرة وخطيرة على البشر والكلاب أن يدخلوها. وتم الإتصال بمجموعات بحثية أخرى للحضور إلى الموقع المنكوب مع روبوتاتهم ومنهم توم فروست (Tom Frost) وفريقه من شركة آي روبوت (iRobot) وهي ذات الشركة التي أنتجت رومبا (Roomba). وتعتبر روبوتات شركة آي روبوت المسماة (ATRV2)، والتي استخدمت في موقع مبنى التجارة العالمي، مثال آخر على الروبوتات التي أُسْتُلِهم تصميمها من الكائنات الحيوانية. تشبه هذه الروبوتات (ATRV2) حيوان الكانغرو حيث يحمل روبوت كبير مجموعة من الروبوتات الصغيرة في جيبه، وترسل فقط الروبوتات الصغيرة زاحفة إلى حفر صغيرة للبحث عن الضحايا بينما يبقى الروبوت الكبير في مكانه.

قبل حوالي ست سنوات، وتحديدا في عام 1995م، سجل مقياس ريختر (Richter Scale) هزة أرضية بقوة 7.2 — أطلق عليها زلزال مدينة كوب (Kobe) ضرب فيها الزلزال الوسط الجنوبي لليابان، مما خلف — أكثر من 5 آلاف قتيل وإصابة أكثر من 26 ألف جريح. كان هذا الحدث دافعا للباحثين اليابانيين لتصميم وبناء

روبوتات قادرة على مساعدة الناس. أول نتيجة ظهرت كانت من قِبل معامل قسم الحريق في طوكيو (Tokyo Fire Department’s Fire Science Laboratories) حيث تم تصنيع مجموعة من الروبوتات القادرة على صعود السلالم وتسلق الجدران. ونموذج آخر لديه أذرع لحمل المصابين في حالة الخسائر البشرية. وعلى ما يبدوا مناسباً أن معظم ورش العمل الدولية للروبوتات في مجال الأمن والأمان والإنقاذ كان مقرها مدينة كوب في عام 2005م. يعمل شيغو هيروس (Shigeo Hirose) وهو أول من بدأ الروبوتات الأفعى) مع كان يونيدا (Kan Yoneda) على تطوير روبوتات شرسة على شكل أفاعي في مختبريهما في معهد طوكيو للتقانة (Institute of Technology). إن مهمة هذه الروبوتات ليست نقل أو علاج الضحايا المنكوبين، ولكنها تستخدم أجسامها الطويلة النحيفة للحركة خلال الشقوق والحفر في المناطق المنكوبة: وهذا مثل آخر على أن التصميم الدقيق لجسم الروبوت يسمح له بتحقيق نتائج أفضل في المهام المطلوبة. على كل حال، بناء على أفضل ماهو معلوم لدينا أن هذه الروبوتات اليابانية المنقذة ماتزال في مرحلة الاختبار ولم تستخدم بعد في مهمات البحث

،وعمليات الإنقاذ الحقيقية (دافيدس، 2002م Davids).

تفتقر معظم الروبوتات المنقذة المستخدمة في مواقع منكوبة حقيقية إلى التحكم الذاتي: جميعها يتم التحكم فيها بجهاز عن بعد من خلال مشغل بشري، لذلك فإن (مبدأ التنوع السلوكي: concept of behavioral diversity) لا يمكن تطبيقه عليها؛ إن التنوع يأتي من المشغل البشري بدلا من الروبوتات ذاتها. لذلك، لا نعتبر هذه الروبوتات المنقذة أنظمة عالية الذكاء في هذه المرحلة. ولكن أسئلة البحث الصعبة في هذا المجال تهتم بتقنيات الحركة في المناطق المنكوبة بينما تؤدي مهمات الإنقاذ، لذلك فإن الذكاء أُعتبر مسألة ثانوية. وحالما يتم التوصل إلى حلول لمشكلات البحث المتعلقة بالتقانة الأساسية وروبوتات الإنقاذ، عندها فقط قد يصبح مهماً مناقشة خصائص الكائن، بمعنى، إضافة المزيد من الاستشعارات وقدرات الفعل الذاتية. أخذا بعين الإعتبار هذا التطور السريع في المجال، فقد يمكننا التوقع بأن الروبوتات المنقذة ستصبح جزءا من حياتنا في المستقبل القريب.

إلى جانب روبوتات الأفعى المنقذة والروبوتات المشابهة للحيوانات الأليفة، هناك نوع آخر من

الروبوتات تسللت إلى بيئتنا، على الرغم من أن معظمنا من قبل — " in the flesh :لم يرها "بذاتها الروبوتات شبه البشرية.

11.5 الروبوتات شبه البشرية المرافقة للإنسان: (Humanoid Companion Robots)

تحدثنا عن الروبوتات شبه البشرية في عدة مواقع خلال هذا الكتاب، وتحديدا في الفصل الخامس عندما تحدثنا عن الروبوتات التطويرية. وفي هذا القسم سوف نلقي الضوء على بعض الأمثلة الجذابة لهذه "الأصناف: species" من الآلات. يطلق مصطلح (شبه البشري و الهيئة الإنسانية: humanoid and android) على تشكيلة واسعة من الروبوتات، إبتداً من الألعاب الشبيهة بالدمى الى الروبوتات المعقدة مثل اسيمو(Asimo)، سفن اتش و (H - 7)، و اوكريو(Qrio). ولقد سبق وأن ناقشنا عدداً من الروبوتات التى تشبه —إلى حد كبير أو أقل — الحيوانات وليس الإنسان مثل، بارو وايبو وبابي، ولكن هناك العديد منها لن نذكرها في القائمة هنا. ودعونا الآن نلقي نظرة باختصار على بعض هذه الروبوتات من مجموعة شبه البشرية الكبيرة، والتي تستخدم أيضاً بشكل رئيسي في التسلية (وبعضها أيضا مستخدم

وهو ،(Hoap - 2) لأغراض بحثية). هناك هوب تو روبوت طوله 30 سم نموذجاً فنياً لروبوت شبه بشري (Fujitsu Corporation) أنتجته شركة فوجيتسو من ألعاب تاكارا (FII - RII) اليابان)؛ و إف تو –آر تو) (Takara Toys) وهي إحدى أكبر مصنعي الألعاب) اليابانية)، وهو روبوت منمق يمكن أن يتصل حتى بالانترنت ؟ يستطيع مالكه مراقبة منزله عن بعد؛ وكذلك المنتجة للروبوت "طفلي (iRobot) شركة آي روبوت الذي يشبه الأطفال "My Real Baby :الحقيقي الحقيقين ويقلد الكثير من سلوكياتهم. كذلك أنتجت شركة (Utah - based ساركوس والتى مقرها يوتا روبوتات عالية الأداء (Sarcos corporation بالحجم البشري، والتى يعمل بعضها بواسطة التحكم عن بعد؛ والروبوت الحقيقي المذهل الشبيه بمارلين مونرو المتحرك الذي إخترعه (Marilyn Monroe) كان من (Shunichi Mizuno) شونيشي ميزونو (Cybot Corporation) إنتاج شركة كايي بوت اليابان). وقد يكون الروبوت المتحدث اكترويد الذي انتجته شركة كوكورو دريمز (Actroid) اليابان) بالتعاون مع جامعة (Kokoro Dreams) أكبر روبوت شبه (Osaka University) اوساكا

بشري أنتج في الوقت الحالي (شكل 1.11أ). يوجد أيضا من شركة (BN - 7) روبوت التسلية بي أن سفن (Bandai Corporation) الألعاب اليابانية بانداي (Tamagochi والتي اشتهرت بلعبة تاماجوشي (NEC) ؛ وكذلك تصف شركة الكمبيوتر العملاقة(toys بأنه "روبوت ذو مشية (Papero) روبوتها بابيرو كمرافق، ويتحدث، وشخصيته الروبوتية شبه إنسانية"؛ :كما يُعَد "الروبوت المفرط الحركة حاء - 2 Hyperkinetic Humanoid H - 2 Robot" (Systems من شركة أنظمة فايو ستيكس CorporationFaustex)، روبوتاً رائعاً في الدفاع عن النفس أسرع من أي إنسان؛ والعديد غيرها. نحن نجد أن الروبوتات التى تم تضمينها بالقائمة لها أهمية خاصة، سواء من ناحية التصاميم ـــ الصريحة أو المضمونة ـــ مع أخذ مبادئ النظم الذكية بالحسبان، أو بسبب اختبارها على فترات ممتدة من الزمن في البيئة ومع البشر. ونحن لم نتحدث عن جميع هذه الروبوتات كل على حدة، ولكننا ذكرناها لنشير إلى تنوع الروبوتات شبه البشرية الموجودة. بدلا من ذلك، سنركز على عدد والمطور (Robovie) منها: روبوت التواصل روبوفي (Osaka University) بالتعاون مع جامعة اوساكا

ايه تي ار (Kyoto) ومعهد البحث الشهير في كيوتو (ATR)4 والروبوت عازف الناي دبليو اف فور WF ؛ اتش ار بي تو(- HRP - 2)، والذي صمم خصيصا لتفاعل الإنسان مع الروبوت ولمساعدة الناس في المستشفيات والمنازل.

عند تصميمنا للروبوت المرافق، يجب علينا أخذ الثقافة، والتسلية، والموسيقى في الإعتبار. قادت جامعة واسيدا (Waseda University) واحدة في طوكيو، من الجامعات الرائدة في الروبوتات شبه البشرية، تطوير الروبوتات العازفة للموسيقي. في بداية الثمانينات، بدأ الباحثون العمل على وابوت تو (Wabot - 2)، الروبوت العازف للأورجن المذكور في الفصل الخامس، والذي اكتمل عام 1984م. إن مهمة وابوت تو هي العزف على آلة بها لوحة مفاتيح، وبما أن النشاط الفني مثل العزف على الأورجن أو البيانو يتطلب بعضاً من البراعة والذكاء شبه الإنساني. وبتثبيت كامير على الرأس، يستطيع وابوت تو قراءة النوتات الموسيقية وعزفها إذا كانت في المستوى المتوسط من الصعوبة؛ ويستطيع وابوت تو أداء 15 ضربة على لوحة المفاتيح في الثانية. كما يستطيع مرافقة أي مغن، وذلك يتطلب مهارات تفاعلية هامة: حيث على الروبوت أن "يستمع"

ويتكيف مع إيقاع نغمة المغني. ويعتبر وابوت تو حدثاً هاماً في تاريخ الروبوتات شبه البشرية، حيث أن المهارات التي يمتلكها تدل على مستوى عالٍ من الذكاء. ومع ذلك، لا يستطيع أحد الإدعاء أن وابوت تو يمتلك درجة من الذكاء البشري. ويلعب التناسق الحسي الحركي دورا مهما في عزفه، ولكن هناك القليل نسبياً من المحفزات الإستشعارية التى تُولَّد ذاتياً. إن يدي الروبوت تتميز بالبراعة، ولكن حركة جسمه وبالتالي المحفزات الإستشعارية المتولدة من خلال السلوك كانت محدودة نوعاً ما. ولأن المهمة مقيدة نسبياً، فان ذلك ليس ذو أهمية.

تتمتع الروبوتات الموسيقية بتاريخ طويل. طوَّر بيير جاك دروز (Pierre Jaquet - Droz) وابنه هنري لويس (Henri - Louis) روبوتاً عازفاً للأورجن في القرن الثامن عشر في سويسرا. ولقد كان الأورجن الذي يعزف عليه الروبوت مصمم خصيصاً له، بينما يستطيع وابوت تو، العزف على أي نوع من أجهزة الاورجن. ويتمتع وابوت تو بسلوكيات عديدة وقدرة على التكيف أكثر من غيره من الروبوتات التاريخية؛ حيث أنه يظهر إستجابة وتنوعاً أكثر. وبسبب قدرته على العزف ـــ

والتفاعل ـــ مع المغني، يعتبر وابوت تو حدثاً مهماً في تطوير "الروبوت الشخصي" أو الروبوت المرافق.

في العصر الحالي قام أحد الرواد في مجال الروبوتات شبه البشرية اتسو تاكا نيشي (Atsuo Takanishi) بتطوير نوع جديد من الروبوتات الموسيقية، روبوت عازف الفلوت "المزمار" دبليو اف فور (WF - 4). كما أن تاكانيشي ممارس وذو قدرة إستشرافية: فهو ليس لديه فقط أفكار كبيرة، ولكنه يستطيع بسرعة تحويلها إلى تطبيقات عملية. فعلى سبيل المثال، عند إدراكه أن واحد من عيوب الكراسي المتحركة هو بيئتها المحيطة المخصصة، فهي في جوهرها، مقصورة على الأسطح المنبسطة، لذا قرر أن يتعاون مع الشركة الروبوتية اليابانية الرائدة (Tmsuk) على تصميم كرسي تمسك متحرك، بهدف توسيع البيئة المحيطة المخصصة لهذا الجهاز.

وبالعودة إلى الروبوتات "الموسيقية" مثل الروبوتات عازفة الاورجن، فان الأجهزة التى تعزف الفلوت "المزمار" تعود أصولها إلى القرن الثامن عشر. جاك دوفاكانسر (de Vaucanson Jacques)، بعد أن اشتهر بسبب بطَّتُه الميكانيكية، طوَّر روبوتا بارعاً في العزف على المزمار وروبوتا بعزف على الطبل، ولكن

مرة أخرى، فقد كان كلا من المزمار والطبل مصممين خصيصا للروبوت. لنتفحَّص الآن دبليو اف فور بمزيد من التفاصيل. إن التكوين التقني لهذا الروبوت فعلاً مذهلاً، وأجزاءه ذات الصلة على درجة عالية من التجسيم. للروبوت رئتان ـــاسطوانتان تختزنان نفس كمية الهواء التى تختزنها رئة الذكر البالغ، ولديه رقبة ذات 4 درجات من الحرية لتسمح بتحركات الرأس المشابهة لحركة رأس الإنسان؛ كما إنه يمتلك يدين بأصابع ولها مجتمعة أحد عشر درجة من الحرية؛ وتستطيع أن تفتح وتغلق صمامات المزمار ثماني مرات في الثانية؛ ولديه 3 درجات من الحرية لآلية الشفاه حتى تشكل الشعاع للهواء الخارجي، والذي يعتبر ضرورياً لتوليد الصوت من المزمار. وأخيراً هناك آلية الاهتزاز التي تُمكِّن الروبوت من إنتاج الهزات الضرورية لتحقيق أي أداء بالمزمار. هناك نظام أداء موسيقي يشمل واجهة والتى (MIDI:رقمية تدعم الموسيقى (إم آى دى آى تمكِّن دبليو اف فور من العزف، مثلاً، كامل العزف الرباعي. بينما يستطيع الروبوت وابوت تو عازف الاورجن مرافقة أي إنسان يغني، فإن دبليو اف فور يستطيع العزف بالتزامن مع إنسان يعزف المزمار. ولهذا الغرض هناك العديد من واجهات الاستشعارات. وتستخدم

مكبرات الصوت لالتقاط صوت عزف المزمار، ولكن هناك العديد من الاستتشعارات المرتبطة بالعازف البشري للمزمار: حيث تكتشف استشعارات التسارع حركة ذراع الإنسان، وتقيس استشعارات أخرى مستوى تقلص المعدة؛ وأخرى موجودة في مطاط على الأرض له خاصية المواد الموصِّلة كهربائياً حتى يقيس حركة الأقدام. ومن المدهش، ان التركيز كان على الاستتشعارات الموضوعة في بيئة الروبوت أكثر من الاستتشعارات المتضمنة بداخل الروبوت نفسه.

قبل الخوض في بعض مبادئ التصميم المطبَّقة على دبليو اف فور، دعونا نتحدث أولاً عن بعض خصائص الكائن. وبالطبع، بما أن الروبوت يخضع للقوانين الفيزيائية، ففي هذه الحالة، فإن خصائص ذرات الهواء تكون ذات صلة بالموضوع. إن الكائن بكل تأكيد يؤثر بطرق مختلفة ومثيرة في بيئته من خلال سلوكه وذلك حين يصدر موجات ضغط، والتي من خلال تفاعلها مع البيئة ــــ المزمار ــــ ينتج أصواتاً مسموعة، ونأمل ان تكون ممتعة ايضاً. إضافة إلى ذلك، هناك طريقة بارعة يؤدي بها دبليو اف فور العمليات الحاسوبية للشكل البنيوي الجسدي:إن خصائص التشكيل لبنية الشفاه ــــ الشكل والمادة المكونة ــــ وخصائص المادة لآلية

الاهتزاز تستغل لإنتاج إشعاع الهواء المناسب. في هذه الحالة يستغل الروبوت، على الأقل لحدٍ ما، التوازن البيئي، أي حقيقة أن البنية والمواد هما اللذان يوفران خصائص التَّحكُم.

وبينما يستغل دبليو اف فور التوازن البيئي، مبادئ تصميم أخرى تُطبَّق ولكن بدرجة أقل. مثل، التناسق الحسي الحركي الذي يؤدي إلى تنظيم وهيكلة الحافز الإستشعاري الذي قد يستخدم بصورة ما. فقد يناقش المرء أن الروبوت يمسك المزمار ويضعه بين شفتيه، فمن المحتمل أن ينتج حافز استشعاري يمكن استغلاله لضبط شكل شفتيه واندفاع الهواء. من الواضح، أن سماع عزف شخص ما والإحساس بالاهتزازات الصادرة هي واحدة من الميكانيكيات الأساسية لتعلم العزف على أي آلة، ولكن التعلم لم يكن الهدف في هذه الحالة. وحتى الآن مانسطتيع قوله، أن دبليو اف فور لا يستطيع أن يستمع إلى موسيقاه المعزوفة ولا الإحساس بأفعالها. مع احترامنا لمبادئ التصميم التطويرية والتطورية، فإن كل العمليات التي يعرضها دبليو اف فور تأخذ مكاناً في مبدأ الآنية "هنا والآن". يرغب تاكانيشي (Takanishi) وفريق عمله أرادوا فهم وبناء الآليات الحقيقية بأنفسهم، بدلا من استخدام التعلم أو الطرق التطورية لتصميمها.

وقد استطاعوا تحقيق إنجاز رائع في هذا المجال: حيث أن الموسيقى التي يصدرها دبليو اف فور WF4 فاتنة وساحرة. مع الأخذ في الإعتبار الإستجابة و التنوع، يكون هناك استغلال بسيط للبيئة المحيطة المخصصة للروبوت، على الرغم من أنه كما اشرنا، فهو يحسن استخدام الخصائص الديناميكية لذرات الهواء. وبينما هناك الكثير من التنوع السلوكي، في هذه الحالة يستطيع الروبوت عزف أي مقطوعة موسيقية، حتى السرعة العالية مثل معزوفة "طيران النحلة الطنان Flight of the Bumblebee: " لنيكولاي ريمسكاي كورساكوف (Rimsky - Korsakov Nicolay)، قد تُبرمج مسبقاً لأدائها هذه المقطوعات. أن التنوع السلوكي لدبليو اف فور من السهل زيادته وذلك من خلال امداده بقدرات قراءة النوتات الموسيقية مثل تلك الموجودة عند وابوت تو.

إن الهدف من مشروع دبليو اف فور هو اكتشاف قدرة وحيدة محددة، العزف الموسيقي، بدلا من تطوير روبوت مرافق بأكمله لجميع القدرات. من منظور الكائن المتكامل فانه من المثير إيجاد العلاقة بين عدد من القدرات، مثل عزف الموسيقى والكلام، ضمن سياق تطويري على سبيل المثال: ماهي القدرات الحسية

الحركية التى نحتاج تضمينها في الكائن ليتمكن من أداء مهمات صعبة؟ يمكن أيضاً استخدام آلية الرئة والشفاه، على الأقل، للكلام وتعابير الوجه. هناك العديد من الروبوتات القادرة على الكلام، وفي البعض منها ضبط الحبال الصوتية لإصدار الصوت يستخدم بدلا من وضع شريحة إلكترونية صوتية رقمية. ماهي الآليات التطويرية التي تسمح للروبوت بأن يتعلم كيفية استخدام الرئتين، والحبال الصوتية، والشفاه لإنتاج الكلام والإبداع الموسيقي؟ من الواضح أن مبادئ التصميم التطويرية يمكن أن تُطبَّق بنجاح في هذا السياق. وعلى سبيل المثال، يبدو من الواضح أن مبدأ "التطوير كعملية تراكمية: development as an incremental process " له دور بارز هنا: حيث على الروبوت غالبا أن يتعلَّم أن يصدر أصواتا أساسية أولاً باستخدام حركات بسيطة، وعندما ينجح في ذلك يبدأ باستخدام درجات الحرية لتحريك شفتيه وأصابعه لإحداث تغيرات دقيقة في النغمات.

ولأن التعابير العاطفية مهمة في العزف على المزمار، قد يكون من الممكن الانتقال مما تم تعلمه من بناء روبوتات موسيقية الى توليد تعابير لوجه الروبوت والتى تلعب فيها الأحاسيس دوراً مركزياً (سوف نناقش هذا

النوع من الروبوتات لاحقاً). وعلى سبيل المثال، دبليو اف فور قد يستطيع إستخدام شفتيه ليعبر عن سعادته أو حزنه. ويخطر على بالنا مباشرة سؤال آخر بما أن دبليو اف فور يستطيع العزف على آلة موسيقية معينه، هل حقاً يمكن أن يتعلم العزف على آلة أخرى بشكل أسرع، كما هو الحال في تعلم الإنسان: ومرة أخرى، هذا يرتبط أيضا بمباديء التصميم التطويري developmental): (design principles:أن تعلم مهارة ما يساعد على تعلم مهارة أخرى. لقد طُوِّرَت الروبوتات الموسيقية لاستخدام عدد من الآلات: طور مات ويليامسون (Matt Williamson) من MIT الروبوت كوغ (Cog robot) بحيث انه تمكَّن من العزف على الطبل (وليام سون، Williamson، 1999 م؛ وطورت شركة تويوتا للمراكب (Toyota Motor Company) عازفاً للبوق؛ كما ركَّب كوجي شيبويا (Koji Shibuya) روبوتاً عازفاً للكمان، سمي كانسي (kansei)، وهي كلمة يابانية تعني الإحساس المرهف والشعور، وقد لعب دوراً هاماً. والسؤال الذي يطرح نفسه من منظور الكائن المتكامل هو إلى أي مدى قد تكون كلاً من القدرة على المشي والحركة بطرق معقدة، والقدرة على إنتاج الكلام ـــــوالتنوع الكبير من

الإختصاصات الحسية الحركية المطلوبة لهذه القدرات ــــ ضرورية لتعلم العزف على المزمار. إن هذا الرأي نادراً مايؤخذ بالحسبان ولكنه واضح من منظور الكائن المتكامل. وهذا يعيدنا إلى تحذير ماك فارلاند: من حيث حقيقة عرض دبليو اف فور لمهارات مثيرة ومحددة ولديه قدرات أخرى مشابهه للإنسان.

وقبل الخوض في الروبوتات ذات المهارات الاجتماعية، دعونا نتكلم باختصار عن بعض أشهر الروبوتات شبه البشرية: اسيمو (Asimo)، وكريو (Qrio)، و اتش ار بي تو (HRP - 2)، وكوج نيرون (Cogniron). تحدثنا عن أسيمو في أكثر من مرة في هذا الكتاب. والأصل أن الهدف الرئيسي لهذا الروبوت هو تطوير سلوك المشي، ولكن الآن، بعدما تطورت مشيته بشكل واضح، أضيفت إليه سلوكيات أخرى، مثل ماذكرنا في الفصل الثالث (التلويح باليد، وحمل الكراتين، و صعود ونزول الدرج، والرقص، و مصافحة باليد، والتحدث، والقدرات البصرية مثل التعرف على الوجوه، والاتصال بالانترنت، وغيره)، والزيادة من قدراته ليصبح روبوتا مرافقاً. كريو (Qrio) نسخة سوني من الروبوت شبه البشري على الرغم من أن طوله يبلغ 58سم، فإنه مصمم للتسلية أكثر منه للقيام

بالأعمال المنزلية، وبصفة عامة لديه صفات مشابهة تجعله قادراً على ادآء مجموعة اكبر من السلوك. اتش أر البالغ طوله 154سم ووزنه 58 ،(HRP - 2) بي - تو المطوَّرة خلال (HRP) كغ، احد روبوتات اتش ار بي البرنامج الياباني للروبوتات شبه بشرية (كما يدل إسمه)، (Kawada صُمِّم وبني من قبل صناعات كاوادا Industries). أحد أهداف التصميم الرئيسية لروبوتات اتش ار بي هو التعاون مع الإنسان. مثلاً، من المفترض أن تكون قادرة على مساعدة الناس في المستشفيات، و إرشادهم على كيفية قيامهم بالتمرينات، والتنزه معهم، والمحادثة معهم، وإحضار الوجبات لهم. ويمتلك الروبوت اتش أر بي - تو عدد من المهارات الخاصة والمثيرة: فهو يستطيع الوقوف دون مساعدة إذا سقط، ويساعد الإنسان في حمل لوح خشبي كبير، وهي مهمة تعاونية دقيقة تتطلب مهارات حسية حركية متقدمة.

وعلى الرغم من أن هذه الروبوتات الثلاثة، اسيمو، و كريو، واتش ار بي - تو، تُظهِر تنوعاً لا باس به من السلوك ولذلك تتوافق مع جزء وحيد من الإستجابة والتنوع، إلا أنها تستغل بيئاتها بشكل محدود لتحقيق هذه المهام. فمثلا هي حتى الآن لا تستغل (الديناميكيات ولا فكرة العمليات .passive dynamics): الساكنة

الحاسوبية للشكل البنيوي الجسدي —لإستغلال خصائص المادة، باستخدام عضلات اصطناعية للإستيلاء على جزء من التحكم — الذي لم يُضَمَّن بعد كما هو الحال لمعظم سلوكياتها المبرمجة فعلياً. وبإعطاء التحديات التقنية المتطلبة لتطوير الروبوتات شبه البشرية، فان النتائج التى تم تحقيقها فعلاً مدهشة. ولا يزال، الطريق طويلاً قبل أن تكون لدينا روبوتات مرافقة فعلا تستحق هذا الاسم. فهي لا تحتاج فقط لتطوير امكانياتها الحسية - الحركية ولكنها بحاجة ايضاً إلى مهارات التفاعل الإجتماعي.

وبينما تعود أصول هذه الروبوتات المرافقة بصورة حصرية الى اليابانيين، فإن هذه الموجة وصلت حديثاً إلى أوروبا وأمريكا. على سبيل المثال، أن مشروع كوغ نيرون (Cogniron project) — والاسم مأخوذ من "companion الروبوت المرافق ذو القدرة الإدراكية cognitive robot" — أيضاً تركز على بناء الروبوتات شبه البشرية القادرة على مشاركة الناس حيزهم المكاني والتفاعل معهم بصورة طبيعية. ويعتبر كوغ نيرون مشروع كبير، أوروبي موحد مدعوم (European Union–supported project)، ويبلغ عدد المختبرات الأوربية المشاركة في هذه المبادرة

حوالي عشرة. إن الهدف المعلن لهذا المشروع هو دراسة المهارات الإدراكية، والمنطقية، ومهارات التعلم المطلوبة في الروبوت المجسد ليقوم بوظائفه في بيئات مركَّزة حول الإنسان: هدف طموح حقاً! ومن المثير التأمل في الكيفية التى سوف تتطابق فيها هذه الروبوتات مع مبادئ التصميم وماذا يمكن لروبتً مثل هذا أن يُعلِّمنا عن الذكاء.

روبوتات قادرة على التواصل الاجتماعي 11.6

الروبوتات ذات مهارات التواصل الاجتماعي هي ما يصبوا اليه الإستشرافيون أمثال اتسو تاكانيشي (Atsuo Takanishi) (دبليو اف - فور: WF - 4)، هيروشيكا اينوي (Hirochika Inoue) (اتش - سفن: H - 7)، هيروشي اشيغورو(Hiroshi Ishiguro) (روبوفي: Robovie)، فوميوهارا (Fumio Hara) وهيروشي كوباياشي (Hiroshi Kobayashi) (الروبوت الوجه: face robot)، وروبوتات الشركات التي كان لديها ذات التوجه أثناء تطوير برامجها البحثية مثل شركة هوندا (Honda) التى طورت (اسيمو: Asimo)، و شركة تويوتا (Toyota) التي أنجزت بناء (الروبوت الشريك: Partner Robot)، و شركة سوني (Sony) التى

(Kawada) وشركة ،(Qrio: بنت روبوتها (كوريو ،(HRP - 2: كاوادا مخترعة الروبوت (اتش ار بي ـ تو كوكورو دريمز التى (Kokoro Dreams) وشركة تمكنت من بناء الروبوت (اكترويد :Actroid). والسؤال الذي يطرح نفسه هو إلى أي مدى يمكن تحقيق المهارات الاجتماعية في الروبوتات مع أنظمة حسية حركية محدودة ؟ ومثل هذه الأسئلة المفتوحة. وتعتبر اللغة جزءا اساسياً في التواصل الاجتماعي، وقدرة الإنسان على وجه الحصر لمعالجة اللغة ـ الطبيعية قد تتطلب نظاما حسياَ ـ حركياً معقداً ليوفر الأسس الغنية لمفاهيم الهياكل التي تستطيع استخدام لغة وأساليب التواصل. (هذا يعود بنا إلى مشكلة ترسيخ الرمز والتي ناقشناها في الفصل الخامس). إلى أي مدى؟ هذا هو السؤال المفتوح الذي يدرس في مجال تطور اللغة (evolution of language). إن العديد من الروبوتات تتكلم، ولديها بعض المهارات التخاطبية الأساسية، ولكن في معظم الأحيان فان هذه القدرات لها أساس من الصحة ولكنها لاترتبط بالتجسيد الرئيسي للروبوت ذاته، فهي مبرمجة بالروبوت وليست مكتسبة من خلال نظامه الحسي الحركي الذاتي[35]. إضافة إلى ذلك، بصفة عامة، فان قدرة التواصل اللفظي للروبوتات

محدودة جداً. ولكن حتى الكلام المحدود المبرمج مسبقاً لايزال يبهر الناس، وهذا نتيجة ضعفنا العالمي في إسناد الخواص البشرية لغير البشر. هذه الظاهرة تمت برهنتها في الستينات من خلال البرنامج الحاسوبي لجوزيف ويزين بوم (Weizenbaum Josef) المعروف بإسم اليزا (Eliza) (1966م) ويزين بوم، ،ويزين Weizenbaum). اليزا، وهي طبيبة نفسانية إفتراضية، تعمل على أساس (لوغاريتمات تطابق الأنماط: pattern - matching algorithms) والذي يعيد ترتيب الجمل المطبوعة ويخرجها على هيئة أسئلة، مما يجعل المستخدمين يشعرون بأن البرنامج يفهمهم، على الرغم من أن كلمة "فهم" من الواضح غير مناسبة هنا لأي شخص يفهم. إلى أي مدى تحتاج الروبوتات لقدرات حسية - حركية مشابهة لتلك التي لدى الإنسان حتى تطِّور قدرات لغة طبيعية شبيهة بالإنسان لاتزال مسألة بحثية مفتوحة.

صُمِّم الروبوت المشهور روبوفي خصيصاً للتفاعل مع البشر، وذلك بواسطة هيروشي اشيغورو (Hiroshi Ishiguro) من جامعة اوساكا (University Osaka) وأعضاء من الباحثين من مختبر ايه تي ار (ATR) في كيوتو (Kyoto). إن الاسم "روبوفي:

والتي vie "" مأخوذ من الكلمة الفرنسية "Robovie تعني حياة، وعليه تعني كلمة روبوفي "روبوت الحياة: robot life" وعلى الرغم من أن الهدف هو تطوير روبوت شبه بشري — هيئة الجذع يقارب غالباً للإنسان، لديه ذراعان، ورأس، ونظم للإبصار والكلام، وأذنين عبارة عن (مايكروفونات) — وأيضاً يحسن إستخدام التقانة التى لا تتوفر في الطبيعة، مثل عجلات للحركة، كاميرات كروية للرؤية، وأستشعارات بالموجات الصوتية لتحديد المسافات، ومزودة ببطاقات التعريف بترددات الراديو (RFID) واتصال لجمع البيانات، لاسلكي بالانترنت.

التَّعَرُّف والتعبير عن المشاعر لايزالان الهدفان الرئيسيان في تصميم العديد من مشاريع الروبوتات شبه البشرية. الفرضية الأساسية هي أن هاتين القدرتين متطلَّبتان للتواصل السَّلِسْ بين الروبوتات والبشر، وهي فرضية يلزمها مدة - طويلة من الاختبار. في الروتين اليومي، يتفاعل البشر بانسجام مع الأجهزة مثل سياراتنا، واستريوهاتنا، والأجهزة المنزلية، ويبدوا أننا سعداء بان هذه الأجهزة لا شعور لها على الإطلاق. إن اختبار التفاعل البشري مع الروبوتات ذات المهارات الاجتماعية على مدى طويل ضروري جدا، مثل التجربة التي أُجريت

على مدرسة قواعد لغوية في (ATR) من قِبَل باحثي اليابان. عندما قُدِّم روبوفي للمدرسة لأول مرة، تفاعل معه الطلاب بصورة متكررة، ولكن بعد أسبوعين انخفض معدل هذا التفاعل بنسبة كبيرة. وهذه ظاهرة ناقشناها في سياق حديثنا عن الروبوتات المسلية بصفة عامة. غالبا، ما تزول حداثة أي جهاز معقد بسرعة، وخاصة إذا لم يتطور الجهاز أو تظهر عنه سلوكيات جديدة.

دعونا مرة أخرى نطبق مبادئ التصميم على هذه الروبوتات. واحدة من المبادئ التي اعتمد عليها مطوروا روبوفي، سواء بشكل ضمني أم صريح، هو مبدأ الثلاثة عناصر متناهية الدقة: فبدلا من وضع كل شيء داخل الروبوت، عدَّلوا بيئة الروبوت، وبهذا تم استغلال تأثير التنصيب البيئي بطرق مبتكرة. مثلا، إذا وضعنا بطاقات (RFID) في البيئة ولدى الطلاب، يستطيع روبوفي التعامل مع مجموعة من الطلاب المحتشدين حوله، وهو شئ يصعب حدوثه من خلال استشعارات البصر، والسمع، واللمس فقط. وفي هذه الحالة، فانه يتماثل أيضاً مع مبدأ التصميم الزهيد: إن التقنيات الموضوعة في البيئة غالباً ما تسمح للروبوتات بأن تكون أكثر بساطة. وعليه فوضع المصنوعات اليدوية والاستشعارات على الناس بدلا من وضعها على الروبوتات فقط، يعيدنا إلى

الحيوروبوتية: أي ربما يتم التفاعل بين الروبوتات والناس بصورة أفضل في المستقبل إذا أرتدى البشر ـــ او أحتوى على ـــ التقانة.
هذه الفكرة أيضاً تجمع بين المنهجية التركيبية وبين هدف دراسة الحياة كما يجب أن تكون: أشكال جديدة من "الحياة"، أو على الأقل أشكال جديدة من الشركاء التفاعليين، سيقدم العديد من الإمكانيات الجديدة للتواصل والإتصال (انظر نقاشنا عن حاسبات كل مكان في الفصل الثامن). إن مبدأ التكرار التبادلي ينطبق أيضا على روبوفي: تقدم بطاقات (RFID) الموضوعة على الطلاب نوعا من التداخل الوظيفي مع النظام المعتمد على الإبصار والتعرف على الوجوه وربما مع نظام التعرف على الكلام أيضاً. نحن لن نناقش مبادئ التصميم الأخرى هنا، لأنها لا تنطبق كثيراً على تصميم روبوفي الحالي. عموما، فإن تصميم روبوت للتواصل قد يكون أسهل من تصميم روبوتً منعزلا وذلك لأن خصائص التواصل يمكن إستغلالها والمشاركون يمكن تنصيب ردود فعل بعضهم البعض: إذا سأل البشر سؤالاً محدداً، فان ذلك يشكل أنواع الإجابات التي لابد أن يقدمها الروبوت والعكس صحيح. هذه الفكرة للمحادثة كأداة للتنصيب كانت من الهام سيمون جارود (Simon Garrod) في ورقته

العلمية: " لماذا المحادثة سهلة جداً؟ Is Conversation So Easy Why" (جارود Garrod and Pickering) ،وبيكارينج، 2004م حيث ناقش أن عمليات التفكير لكلا المشاركين تصف بشكل متبادل منحاز وتُدَعَّم بالتحادث، وهذا يجعلها أسهل بكثير من، القاء الخطبة على سبيل المثال.

11.7 الروبوتات القادرة على التعبير بالوجه والجسم

يلعب وضع الجسم، والإيماءات، وخاصة الوجه دوراً حاسماً في التواصل. ولهذا السبب، فان التعرف على الوجوه وتعابير الوجه أصبحت مواضيع بحثية هامة في مجال علم الروبوتات الذكية. ولقد بدأت مشاريع الروبوتات البحثية في تعابير الوجه مع بداية التسعينات وذلك أثناء بناء "روبوت الوجه face robot" الذي ذكرناه في الفصل، (Fumio Hara) لفوميو هارا السابع كمبتكر للمصطلح "للآلة المتعددة الوظائف: morphofunctional machine " وتلميذه (Hiroshi Kobayashi). هيروشي كوباياشي إن " روبوت الوجه " عبارة عن رأس بأربع وعشرين درجة من الحرية، قادر على إنجاز تنوع كبير من التعابير الوجهية، ويتضمن مايُعْرف بالعواطف الأساسية

السعادة، والحزن، (basic emotions): والاشمئزاز، والغضب، والتعجب، والخوف. وتعتمد تعابير وجه الروبوت على (نظام شفرة الحدث الوجهي: Action Coding System Facial) (اف أيه سي اس: FACS) الذي طوره عالما النفس بول إكمان (Ekman Paul) ووالاس فريزن (Wallace Friesen) في جامعة كاليفورنيا (University of California) - سان فرانسيسكو في عام 1980م. ولأن عضلات الوجه لا يمكن أن تعمل انفراديا، استخدمت (اف أيه سي اس) مبدأ يُسمى (وحدات الحدث: action units) أي أن مجموعة من العضلات تعمل مجتمعة لإصدار تعبير ما. وهناك رسم توضيحي رائع للروبوت الوجه موجود على غلاف كتاب (الروبوت العاقل: Robo Sapiens) لكل من بيتر منزل (Peter Menzel) وفايث أليسيو (Faith d'Aluisio). بعد فترة وجيزة، أدرك هارا (Hara) وتلاميذه بأن خصائص المادة للروبوت الوجه ضرورية لإدراك التعابير الحقيقية. ان نسيج الوجه في حد ذاته، اضافة إلى عضلات الوجه، يوفر الكثير من الآليات الأساسية التى تشكل تعابير وجه الإنسان. فمثلا، عند الابتسام فقط عدد قليل من وحدات الحدث تكون ضرورية، أما البقية فتهتم بها العمليات

الحاسوبية للشكل البنيوي الجسدي. إن استخدام نظام (اف أيه سي اس) كقاعدة تصميم كانت حركة ذكية، لأنها توفر دليلاً إرشادياً للتحكم في الروبوت: ولإصدار مجموعة متكاملة من التعابير، تم وضع العديد من وحدات الحدث الموجودة في وجه الإنسان التى أُعيد إنتاجها باستخدام المشغِّلات في الروبوت. ولكن لاحظ أن وحدات الحدث تعمل فقط بسبب استغلال خصائص مادة نسيج الوجه. ولذلك، فان الروبوت الوجه يعتبر مثالا جيداً لمبدأ التوازن البيئي: لم يتم الأخذ في الإعتبار وحدات التحكم والمشغِّلات في الروبوت فقط ولكن أيضا خصائص مادة الوجه.

ولا يعتبر روبوت الوجه كائناً متكاملاً: فهو رأس فقط ليس له جذع ولا اذرع ولا أرجل؛ فهي حالة عُنِيَت (Waseda) بدراسة تعابير الوجه فقط. و واسيدا طُوِّر خصيصا لتعبير الوجه)) " Eye :روبوت "العين بالإضافة الى رأس قادر (Actroid) وكذلك اكترويد على تعبير الوجه، له جذع واذرع قادرة على التلويح والإشارات. في كلا الحالتين، تم التركيز على المواد المصنَّع منها، حيث تستخدم اكترويد عضلات اصطناعية على هيئة (مشغلات تعمل بالهواء المضغوط: pneumatic actuators)، والتي تضاف بشكل

هائل إلى تعابير الوجه فتجعلها تبدو حقيقية. ولإكترويد ميزة إضافية مهمة في التواصل الاجتماعي: فهي جذَّابة جدا، صفة تلعب دورا متزايداً في مستقبل الروبوتات شبه البشرية - (انظر شكل 1.11أ).

روبوت التواصل الإجتماعي وذو تعابير الوجه المسمى قسمت (Kismet) (2002م، بريزيل Breazeal) والذي قدمناه في الفصل الرابع، له شكل غريب على هيئة حيوان اليف يتكون من رأس فقط. بالرغم من ذلك، بالإضافة إلى مجموعة ردود الأفعال الأساسية، فهو موهوب بنموذج مُطَوَّر للتعبير العاطفي. تذكر من الفصل الرابع أن مجموعة ردود الأفعال البسيطة — التوجُّه نحو الأصوات العالية، و تَتَبُّع الأجسام المتحركة ببطء، وتراجع الرأس عند بروز شيء في الحيِّز الشخصي: "personal space"، و الشعور بـ: "ملل bored " في حالة إستمرار نشاط ما لمدة طويلة: (التعود habituation) — والذي يتناسق بصورة عالية من خلال التفاعل مع البيئة، يجعله يتصرف بطرق تماثل الكفاءة الاجتماعية بشكل مدهش — إيضاح جميل لمبدأ التوازي، والعمليات الضعيفة الترابط.بالإضافة إلى ذلك، يستطيع أن يُعبِّر عن العواطف الأساسية كالغضب، والسعادة، والدهشة وغيره، وقد يكون مزيجا

منـها، مما يجعل من يضفي على تعابير الوجه المتنوعة نسبياً واقعية أكثر. وتكون تعابير الوجه مقنعة أكثر لكونـها تنشأ من خلال التفاعل الإجتماعي الآني للروبوت، ومن المعلوم جيداً أن قدرة التعرُّف على مشاعر تعابير الوجه بصورة عالية (حساسة - للسياق - context :الوجه بصورة عالية (حساسة - للسياق
أي، أنـها تعتمد على التفاعل اللحظي ،(sensitive للشخص المشارك. ولقد تم استغلال هذه الحقيقة من قبل قسمت: حيث يمكنـه "الإعتماد على" حقيقيـة أن البشر يتفاعلون ويدركون السياق الاجتماعي وهكذا فهم سوف "يتعرَّفون" على الإحساس المناسب لدى قسمت حتى لو كانت تعابيره مقارنة بهم نسبياً بدائية (لأن لديه درجات حرية أقل من البشر في الوجه). فعلى سبيل المثال، إذا كان هناك صوت عال مفاجئ، فان الشعور المحتمل سيكون الدهشة أو الخوف. مره أخرى، بإيحاء من العمليات الحاسوبية للشكل البنيوي الجسدي، فان جوانب المهمة يتم تفريغها في البيئة ـــ في هذه الحالة فإن السياق الاجتماعي يوفر معلومات ـــ لذا فان عملية .عرض التعبير المناسب تكون مبسَّطة الى حد كبير

يقع العديد من الأشخاص في فخ المرض العضال من إسناد الخواص البشرية لغير البشر عندما يصبحون على إتصال مع قسمت. وهذا يطرح السؤال الجاد قد يكون

سلوك الإنسان الاجتماعي نتيجة لردود فعل ولقوانين سلوكية بسيطة، بدلاً من العمليات الإدراكية المعقدة. وكيف نعرف أن مايحدث للإنسان خلال التفاعل الاجتماعي أكثر تقدماً أو تعقيداً مما يحدث مع قسمت ؟ إن فرضية السلوك تسيطر عليه ردود فعل بسيطة، كما أشرنا سابقاً، أيدها سيمون جارود (Simon Garrod) في فكرة التوافق المتبادل في المحادثة (mutual alignment in conversation)، وعالم النفس جون بارغ (John Bargh) مؤلف "التلقائية غير المحتملة: the unbearable automaticity of being " (بارغ وتشارتزاند، 1999م، Bargh and Chartrand)، والذي يجادل فيه أن تصرفاتنا الاجتماعية في الواقع تحرِّكها ردود أفعال تلقائية أكثر بكثير مما كنَّا نعتقد، أو نريد أن نعتقد. ومن المؤكد أن ردود الأفعال الأكيدة لا يمكن أن تفسر كل السلوك البشري، ولكن من المدهش، أو حتى مربكاً للبعض، كيف أن سلوك الروبوت الذي يبدو واقعياً ومتطوراً، واجتماعياً قد أمكن تحقيقه بهذه الطرق البسيطة.

11.8 ملاحظة نظرية:

في هذا الفصل وصفنا عدد من الروبوتات التي تشبه الإنسان أو الحيوان، أو تحاكي بعض السلوكيات المحددة مثل عزف الموسيقى، أو اجراء محادثة، أو التعبير العاطفي بإستخدام تعابير الوجه. ونحن كمهندسين قد نشعر بالسعادة لهذه الانجازات، وهي حقا مدهشة، ولكننا كعلماء نحن مهتمين بما يمكن تعلمه من كل هذه التطورات التى لا تُصَدَّق والغنية بتنوعها. وقد نرغب في طرح سؤالاً، إلى أي مدى يمكن إستخدام الروبوتات التى رأيناها شبه البشرية أو المشابهة للحيوان نماذجاً فعلية للإنسان أو الحيوان. ولنأخذ على سبيل المثال، الروبوت الذي يقلد مشية الإنسان، مثل الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي الذي صادفناه في الفصل الرابع. الآن، هناك اختلاف جوهري بين النموذج التجريدي للإنسان الماشي — أي، نموذج لآليات النظام العضلي العصبي للإنسان — وبين روبوت فيزيائي لابد أن يمشي في العالم الحقيقي. بينما النموذج التجريدي يتعلق فقط بالإنسان، فإن الروبوت الفيزيائي الحقيقي يمتلك ديناميكية جوهرية، والتي، بسبب هيئته البنيوية الفيزيائية المختلفة، في الواقع قد يحيد بشكل ملحوظ عما هو عليه لدى الإنسان. أن الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي يمتلك شكلاً غريباً، وإقدام عريضة، وذراعيه

مثبته مباشرة في الورك. وحتى يتمكن الروبوت من المشي، يجب أن يمتثل لديناميكيته، وليس لديناميكية الإنسان. كما علمنا من حديثنا عن سمك الجلكي، فإن نمط ديناميكية المولدات المركزية يجب أن تضبط مع ديناميكية جسم الحيوان. إن هذا يعني أننا ببساطة لايمكن نقل نماذج نظم جهاز الخلايا العصبية للإنسان، مثلما هو معروف تلك التى تتحكم في المشي، للروبوتات شبه البشرية، ونحن لا نستطيع مباشرة إستخلاص إستنتاجات عن التحكم العصبي للإنسان من خلال (نظم هندسة التحكم: control architectures) التي تعمل جيدا في الروبوتات شبه البشرية. في هذه الحالة، ما يمكننا قوله مباشرة عن مشي الإنسان محدود جدا. على كل حال، هناك الكثيرمما يمكن قوله عن المبادئ العامة للسلوك: (مثل، اليات أو دينميكيات التحرُّك dynamics of locomotion)، وهذه المبادئ تنطبق على المصنوعات اليدوية وكذلك على الإنسان. أما بالنسبة للنظرية العامة للذكاء، فهي تلك المبادئ التجريدية التي نسعى ورائها. وكمثالين على المبادئ التجريدية في حالة التحرك، استغلال (الأرجحة السلبية للأمام: passive forward swing) للأرجل خلال المشي، والخصائص المرنة لنظام وتر العضلة.

وهناك حالة مشابهة يمكن تمعنها في الأحاسيس وتعابير الوجه. تكون الأحاسيس تعابير الوجه والعواطف، في كلا من الإنسان والحيوان، مقترنة بشدة الى تجسيدهم المحدد (شكل الوجه، ونسيج الوجه، و (وحدات الحركة: action units))، وبفسيولوجية الجسم (نظام الأطراف، والهرمونات، ونظام الإثارة، والألم والمتعة). وأيضاً، فإن تعابير الوجه لابد وأن تتوافق مع بعض انواع حالات الجذب (لنظام جهاز الخلايا العصبية الفيزيائي المشترك: joint physical - neural system)، أو بعبارة أخرى مع الديناميكية المحددة لنظام تعابير الوجه. ومرة أخرى، هذا واضح وليس فيه أدنى مشكلة. المشكلة الحقيقية تبدأ عندما نستخدم الروبوتات كنماذج لتعابير الإنسان العاطفية. ومن المهم أن نُبقى سؤالاً في أذهاننا عما نستطيع تعلُّمه من تطبيقنا لنماذج التعبير العاطفي على الروبوتات. الذي نتعلمه، هو أننا اذا ركزنا على التحكم في تعبير الوجه من خلال استغلال خصائص المادة، نستطيع تحقيق تعابير حقيقية مع تحكُّم بسيط نسبياً. ومما نتعلمه أيضاً هو كيف يتصرف الناس تجاه الروبوتات التي تتميز بعرض تعابير الوجه (وهذا يكون، بالطبع، قصة مختلفة جداً). ولكن ما لا نستطيع تعلُّمه، ببساطة من خلال دراسة ما يتم في

داخل الروبوتات، هو كيفية تحكم البشر في تعبير الوجه. وأيضاً، إذا نقلنا نماذج التعبير العاطفي الإنساني مباشرة إلى الروبوتات، فان التحكم العصبي بالتأكيد لن يتطابق مع نظام الروبوت الميكانيكي من منظور الميكانيكيا الفيزيائية، لذلك فإن التعابير العاطفية لن تكون مرسَّخة — ولن تكون ذات جدوى — للروبوت. وهذا هو نفس المنطق الذي اتبعناه في الفصل الخامس، حيث ناقشنا أن الرموز التي لها معنى للروبوت — رموز راسخة — ممكن أن تنشأ فقط من الآلية الخاصة بالروبوت ذاته. واذا ربطنا بين العواطف مع الآليات الجسمانية والنفسية للروبوتات، مثل، نظام إمداد الطاقة والإعداد الفيزيائي، أو إذا استخدامنا العمليات التطويرية والتطورية للسماح بنشوء مثل هذه العواطف، فمن الممكن أن نوجد نظاما لعواطف الروبوت: "robot emotions" بحيث؛ تكون عواطف راسخة ومتأصلة. وهذا احتمال مستقبلي مثير للروبوتات القادرة على التعبير والتواصل الاجتماعي.

وهناك جانب واحد اخر نود أن نطرحه باختصار هنا؛ وهو الأخلاق. كلما أصبحت تقانة الروبوتات أكثر تطوراً، كلما كان دخولها مباشراً أكثر في حياتنا، كلما أصبحت الاعتبارات الأخلاقية أكثر مناسبة. ولقد لمَّحنا إلى بعض

المسائل عند نقاشنا عن الروبوتات الطبية المستخدمة في المستشفيات ودور رعاية كبار السن، مواضيع أصبحت تزداد حيويتها كلما ارتفع مستوى ذكاء الروبوتات. هل نسمح لهذه الروبوتات باقتحام حياتنا؟ وهل نسمح لها بالإستيلاء على المهام الهامة والمسؤوليات؟ إذا كانت هذه الروبوتات قادرة على التعلم ذاتياً، وتطوير مبادئها وأفكارها، هل سندعها تقوم بوظائف باستقلالية في بيئاتنا؟ نشعر بأن لكلٍ منا رأيه الخاص في هذه المواضيع. لذلك بدلا من فرض وجهة النظر الخاصة بنا، فقد أسسنا موقعاً على شبكة الإنترنت لمناقشة موضوع هذه الأمور. أيضاً، نأمل أن تساهم الأفكار التي طُرحت في هذا الكتاب في تحفيز المناقشات في قوائم المجموعات البريدية وغيرها من المنتديات على شبكة الإنترنت.

11.9 خلاصة وأستنتاجات

أن الهدف من هذا الفصل من جهة هو توضيح البحوث الإبداعية الشديدة التنوع والأعمال المتطورة التى تجري في "حدود التعايش symbiosis frontier"، والتي من خلالها تكون الروبوتات إما قد إقتحمت التفاعل اليومي مع البشر أو على وشك ذلك. من جهة أخرى، فإننا قد استخدمنا الأفكار التي طوِّرت في هذا الكتاب الى هذا الحد للإشارة الى المسائل اللازم حلَّها

قبل حدوث التفاعل السَلِس الذي فعلياً ممكناً بين البشر والروبوتات. نقطة مهمة، كما هو دائماً، هي الإطار المرجعي السيء السمعة: فإن مجرد بناء الروبوتات التي تعيد فقط إنتاج سلوكيات الإنسان أوالحيوان ليس كافيا. علينا تطوير وفهم تجسيد الروبوت نفسه لان التجسيد هو الذي سوف يحدد في نهاية المطاف الأسس وبالتالي مستوى فهم التواصل المحتمل بين البشر والروبوتات. في الفصل الخامس وصفنا كيف أن الروبوت قد يستخدم هيئته البنيوية لتوليد رموز راسخة. بطريقة مشابهة، ناقشنا في هذا الفصل أن جسم الروبوت ذاته سوف يسمح له بترسيخ عواطفه وايصالها لروبوتات أخرى وبشر. أن روبوتات الخدمة للمهام المعرَّفة بوضوح مثل الكنس الكهربائي، وجز الحشيش، أو حمل الأمتعة الثقيلة أثناء التسوق ليست مشكلة لأننا اعتبرناها أجهزة مجردة، ونتوقع منها إنجاز مهماتها لحد يُرضِي المستخدم. أما الروبوتات المرافقة فهي أكثر تحدياً لأَننا توقعنا منها أن تشاركنا في معرفتنا وفي بديهيّاتنا عن العالم، الذي، بسبب تجسيدهم المختلف، سيكون ممكناً فقط بدرجة محدودة. إن فهم هذه القيود والشروط سوف يؤدي إلى تفاعل أكثر سلاسة وفائدة.

وقد وصفنا كيف أن مبادئ تصميم الكائن تُطبق في روبوتات التسلية، والروبوتات المرافقة، والروبوتات المختصة اجتماعياً. وعلى أي حال، فقد تحدثنا قليلاً في هذا الفصل عن مبادئ التصميم التطويرية و التطورية أو التجميعية. ومن الواضح في الغالب، أن مبادئ التصميم التطويرية سوف تكون مهمة جداً في هذا المجال المحدد في علم الروبوتات، وذلك لان التفاعل الإجتماعي يشكل جزءا كبيراً من التطوير، والروبوتات التى تشارك في المجتمع الإنساني لابد أن تتفاعل جيداً مع البشر، والحيوانات، والأجهزة المستخدمة من قِبَل البشر مثل السيارات والهواتف، والروبوتات الأخرى. وهكذا، فإن مبدأ تصميم التفاعل الاجتماعي (social interaction design principle) سوف يلعب دورا مهماً في تطوير الروبوتات المستقبلية في الحياة اليومية. كذلك مبادئ تصميم الروبوتات التجميعية سيكون لها دورٌ أيضاً: إذا هناك عدد كبير من الروبوتات تشارك في بيئات الإنسان اليومية، يجب أن تتساعد فيما بينها، وكذلك مع البشر لانجاز اعمالهم. لذلك يجب علينا التفكير في هذه الروبوتات من منظور السكان كافة بدلاً من وجهة نظر فردية ونسأل كيف عليهم السلوك كمجموعة. والأهم من ذلك، كيف سيتعاون البشر والروبوتات

كمجموعة؟ وهذا يتطلب بالضرورة تطبيق مبدأ التصميم التجميعي "من الكائن إلى المجموعة :from agent to group ". ونحن نشجع القاريء للتفكير في مدى فائدة مبادىء التصميم الاخرى قد تكون في تصميم روبوتات للحياة اليومية.

بالنسبة للمستقبل، هو ثمة سؤال تجريبي محض — يجب اختباره في العالم الحقيقي — وهو إلى أي مدى يمكن لتقانات الروبوت أن تكون مقبولة و مؤيدة من قبل البشر. قد نجد أننا تعلمنا الكثير عن طبيعة الإنسان، ليس فقط لإعادة إنتاج سلوك روبوتات ولكن من خلال تقديم البشر في مواقف اجتماعية فريدة: الروبوتات في الحياة اليومية. لذلك فان التجارب الإبداعية وبناء الروبوتات، لابد بكل المعاني، أن تستمر وأن تُتَمَّم بدراسات مثل تلك التي أجراها تاكانوري شيباتا (Takanori Shibata) و آخرين باحثين اجتماعيين. وحده المستقبل هو الذي سينبئنا عما إذا كانت هذه الروبوتات التى طوَّرناها ستكون بمثابة شريك في المجتمع الإنساني أم لا. كما نأمل أن تقدم الاعتبارات النظرية، التي تعتمد على مبادئ التصميم المشار اليها سابقاً، توجيهات للبحوث المستقبلية.

الجزء الرابع
مبادىء ورؤى

الجزء الرابع، وهو الجزء الاخير من هذا الكتاب، ويتكون من 12 فصل، وهو عبارة عن خلاصات للنقاط الرئيسية لنظريتنا كما يقدم عرضاً موجزاً لمبادىء التصميم. سوف لن نكررها جميعاً، لأنها نوقشت بالتفصيل خلال الكتاب، ولكننا سنقدم جدولا تلخيصيا شاملا. كما سنقدم قائمة من إضاءات تم إختيارها وتشكِّل مجتمعة مسحاً للرؤى الأساسية التي حاولنا توصيلها للقاريء من خلال الكتاب. وبالعودة الى أهدافنا المركزية، سنختم الكتاب بتقديم مجموعة من الامثلة توضح كيف يمكن دائماً رؤية الاشياء بصورة مختلفة.

للأسف، فإن الفصل 12 — كالفصول السابقة — لا يقدم أي اجابات محددة للمسائل التي تم طرحها في الفصل 1، مثل مشكلة العقل - الجسم. ولكننا نشعر أنه على الرغم من أننا لم نكن قادرين على اجتياز الفجوة بين فهم الاسس الفيزيولوجية للوعي وبين معرفة كيف يؤدي هذا الى تجارب شخصية — وقد لا نستطيع ذلك أبداً، كما اقترح دوبوا ريموند (Dubois - Reymond) في اقتباسه المشهور " نجهل - نعرف:

انظر مربع إطار) " Ignoramus، ignorabimus التوضيح 1.1) ـــ ولكننا قد قطعنا خطوات ضخمة نحو فهم أكثر للذكاء الطبيعي والاشكال المختلفة التي يأخذها، ونعرف الآن بصورة أفضل كيف نبني أنظمة ذكاء اصطناعي.

ولكن قبل أن نصل الى الفصل الاخير، قد تكون هذه هي المناسبة لإضافة بعض الأدلة القوية. غالباً، عندما نفسِّر أفكارنا ورؤانا للحضور من غير المتخصصين بالذكاء الاصطناعي، يجيب الكثيرون، نعم، بالطبع، يبدو معقولا جداً ــــ مثلاً، فكرة كائنً يُشكِّل معلوماته الاستشعارية عبر التفاعل مع العالم الواقعي. ويبدو أن الناس سعداء من حيث كل نقطة فردية نشير إليها عن التجسيد ومن الواضح أنها تفاجئهم. ونحن أيضاً نشعر أن هذا شيء جيد، لأن طلبهم لمبادرة النقاش يعني أنها جديرة بالتصديق. والطبيعة الثورية، ان أحببت، للمنظور الجديد للذكاء الذي قُدِّم في هذا الكتاب يبدو واضحاً فقط عندما تُؤخذ جميع الرؤى بالكامل. كما أننا نُسأل على نحو متكرر عن سبب الفترة الطويلة التي إستغرقها ــ كامل البحث الميداني - لنشكِّل نظرية مترابطة للذكاء. حيث، يعود ذلك إلى ما يقارب نحو عشرين عاماً منذ مقدَّمة الذكاء المجسد لرودني بروكس في منتصف

الثمانينات. ونحن نود أن نشير هنا إلى أنه، مثل أي رأي علمي جديد، نشأ بعد قدر كبير من العمل الشاق والبطيء. ولكن لا زال هناك الكثير مما يتعين القيام به.

الفصل الثاني عشر
كيف يشكل الجسد طريقة تفكيرنا؟

أثناء المؤتمر الدولي المشترك حول الذكاء الاصطناعي (International Joint Conference on Artificial Intelligence) والمنعقد في سيدني (Sydney)، بأستراليا عام 1991 م، تسلَّم رودني بروكس، والذي سبق وصادفناه عدة مرات خلال هذا الكتاب، جائزته القيمة في "التفكير والحاسبات: and Thought Computers "، والتي تُمنح عادة للعلماء الشباب ذوي الإنجازات المتميزة في مجال الذكاء الاصطناعي. وكان من المدهش أنه تسلــم جائزته لأن أفكاره، في ذلك الوقت، كانت مغايرة تماماً لما هو معروف وسائد في المجال. ومن ناحيــة أخرى، كان من الواضح وجود حاجة ملحة للابتكار، وقد كان بروكس الشخص المناسب لهذا. وقد ألقى في نفس المؤتمر: محاضرة بعنوان " ذكاء بدون سبب Without Reason Intelligence " المشار إليه في الفصل الثاني. ويتضمن العنوان على تورية ورسالتين خفية فيهما. أولا، أنه ليس هناك مبرر لسبب وجود شيء مثل الذكاء في المقام الأول، ولكنه موجود على أي حال،

كما هو معلوم للجميع؛ وهذه هي القراءة المعتادة للجملة. ثانيا، يصدر الذكاء أو السلوك الذكي بدون الحاجة إلى التفكير العقلاني. ومن المثير أن نتذكر أن واحدة من أهم البحوث في مجال الذكاء الاصطناعي التقليدي كان ــــ ولا يزال! ــــ حل المشكلات واستنباط الحلول المنطقية. على الرغم من أن إحدى الأوراق الأولى في منهج بديل، تصميم البناء التصنيفي (تذكَّر نقاشنا في مبدأ التصميم العمليات المتوازنة ضعيفة الترابط في الفصل الرابع) والتي صدرت لبروكس قبل خمس سنوات (بروكس، (في 1986م عام، Brooks)، وقد شكلت هذه المحاضرة في عام 1991م نقطة تحول، مشيرة إلى ظهور تحول لنموذج جديد، والذي أعطى بدوره دافعاً لكثير من العمل الذي كنا بصدد وصفه في هذا الكتاب. في محاضرته، قدم للحضور الذين يتبنون في معظمهم النموذج التقليدي، أوجز بروكس الفــروق الأساسية بين الحاسب المعتمد على الذكاء وأشكال الذكاء الحيوية. وبالطبع، لقد أوضح "كيف يمكن للذكاء أن يكون "مجسداً.

منذ محاضرة بروكس الهامة توسع هذا المجال بشكل كبير، كما وضحه المخطط في الفصل الثاني، ونضجت الفكرة. لذا نأمل، بأن الرؤى التى قُدِّمت في هذا الكتاب توفر دليلاً على هذا الإدعاء. وسوف يلخص هذا الفصل

الأفكار والرؤى الأساسية للكتاب. نحن نريد بالتحديد أن نُظْهر كيف أدت مفاهيم التجسيد إلى التغيير، ليس فقط بالطريقة التي نرى بها الذكاء الحيوي وكيف نبني الأنظمة الاصطناعية، ولكن بصورة أعم في الطريقة التي نرى بها أنفسنا والعالم من حولنا.

بداية نلخَّص الطرق التي يشكل بها الجسم طريقة التفكير، وذلك بتقديم توضيح عن الأفكار النظرية الموجزة في القسم الثاني. ولكن بدلاً من أعطاء سردٍ منظم لجميعِ مبادئ التصميم، والتي ستكون بشكل كبير مكررة، سنوفر ملخصا شاملا لما تتكون منه هذه النظرية. ومن ثم سنلقي الضوء على عدد من الرؤى التي نتجت عن أبحاثنا وأبحاث الآخرين، رؤى نجدها بشكل خاص مثيرة وتستعرض قوة الأفكار الجديدة. ومن ثم، سنوسِّع سياق البحث ونناقش كيف أن الرؤى الجديدة المكتسبة من خلال التقدم في العلم بشكل عام قد شكَّلت الطريقة التي نفكِّر بها في العالم وفي أنفسنا. لذا، قبل أن نبدأ بإلقاء الأضواء، دعونا نتطرَّق الى مهمة تلخيص النظرية.

خطوات نحو نظرية للذكاء 12.1

من المحتمل أن لا تكون نظريتنا محكمة مثل النظريات العلمية الأخرى، وذلك لطبيعة القصور في تعريف الذكاء

وأيضاً لأن مجال البحث متداخل التخصصات إلى حد كبير ونسبياً لم ينضج كليا. وتتكون النظرية في حالتها الراهنة من ثلاث أجزاء. اولاً، هناك مجموعة من الإعتبارات الفوقية والتي تقدم سياقًا عاماً للنظرية (الفصل الثالث). ثانياً، وجود خاصية لبيئات العالم الحقيقي وللخصائص الأساسية للكائنات عندما تتفاعل مع تلك البيئات (الفصل الرابع). ثالثاً، والأكثر أهمية، هناك مجموعة من مبادئ التصميم للنظم الذكية، والتي ينتظم نقاشها حول المقاييس الثلاثة: الآنية "هنا والآن" (الفصل الرابع)، الوجود الفصل الخامس)، والتطور)"ontogenetic" الجيني الفصل السادس).) " phylogenetic "العرقي ووجود مجموعة إضافية من المبادئ تدور حول الذكاء الفصل) " collective intelligence " التجميعي .(السابع

لنبدأ بتلخيص السياق العام وهو الجزء الأول من عناصر النظرية، فما نعتبره ذكياً بالبداهة، وما ينعكس أيضاً في بعض التعريفات التي تفحَّصناها، يمكن أن تُوصف بالاستجابة و التنوع: فالتنوع يعني أن الكائن لديه عدد كبير من السلوكيات تمكِّنه من رد الفعل الذي يتناسب مع متطلبات موقف معين. ويعتبر التعلُّم منهجا قويا لزيادة التنوع السلوكي لدى الكائن مع مرور الزمن.

وتعني الاستجابة أن يتبع الكائن قوانين البيئة المحيطة المخصصة، ولكن يستطيع أيضاً أن يستغلها لأهدافه الشخصية (مثل، استغلال الاحتكاك والجاذبية للمشي). وقد ذكرنا مسألة الإطار المرجعي لمرات عديدة لدرجة أن القارئ يكاد لا يحتاج لهذه الخلاصة: (1) يجب أن نحدد بوضوح الوجهة التي ننظر من خلالها للسلوك، بمعنى، وجهة نظر (التعلم الذاتي من البيئة) للكائن، ووجهة نظر الملاحظ، أو وجهة نظر المصمم. (2) إن السلوك دائماً نتيجة تفاعل النظام مع البيئة - نشوءه - ولهذا لا يمكن برمجته مباشرة داخل الكائن، (3) ظاهر أن تعقيد السلوك لا يعني بالضرورة تعقيد الآليات الأساسية (و العكس بالعكس، حيث أن السلوك الذي يبدو بسيطاً لا يتبع الآليات البسيطة). وبالرغم من أن المنهج التركيبي، "الفهم بالتركيب"، متأصل بعمق في علم الذكاء الاصطناعي، فان فكرة إجراء التجارب بإستخدام المنهج التركيبي أزداد شيوعاً في المجالات العلمية الأخرى (مثال، محاكاة اختبار العقار بهدف التقليل من التجارب التي تجرى على الحيوانات). و تفسير شامل للذكاء يتطلب دائماً ثلاثة منظورات زمنية ـــ الآنية "هنا والآن"، والوجود الجيني، والتطور العرقي ـــ والتي يمكن تطبيقها على تصميم الكائنات الذكية. وأخيراً، وجود

المفهوم الرئيسي للنشوء، والذي يتجلى في ثلاث هيئات: سلوك الفرد، والأنماط السلوكية العالمية في مجموعة من الكائنات، والسلوك عبر مقاييس الزمن (مثال: استغلال الدينامية السالبة والناتجة عن العملية التطورية هي التي شكَّلت مادة خصائص السيقان وهيئتها البنيوية).

يهتم الجزء الثاني للنظرية بخواص الكائنات المجسدة والتى تتصرف في العالم الحقيقي. وذلك لأن العالم الحقيقي يختلف كثيراً عن العوالم الافتراضية، حيث أن كائنات العالم الحقيقي تمتلك العديد من الخصائص التى لا تملكها الكائنات الافتراضية. وفي هذا الكتاب لقد عرفَّنا الخصائص التالية، والتي يجب تذكرها دائماً أثناء التصميم والتحليل: الكائنات المجسدة تخضع لقوانين الفيزياء، وهي تولِّد تحفيزاً حسيًا أثناء تفاعلها مع العالم الحقيقي، فهي تؤثر على بيئاتها، وهي عبارة عن أنظمة دينامية معقدة، وتُجْرِي العمليات الحاسوبية للشكل الجسدي.

لهذه الخصائص إنعكاسات هامة. على سبيل المثال، لأن كائنات العالم الحقيقي لديها مقدرة التعلُّم الذاتي من البيئة وتتحرك هنا وهناك، ليس فقط الأوضاع هي التي تتغير بإستمرار من منظور الكائن، ولكن الأجسام التي في البيئة كذلك تظهر دائماً مختلفة من مسافات، واتجاهات،

واوضاع إضاءة متغيرة، مما يزيد من صعوبة الإستيعاب. نتيجة أخرى تعود لطبيعة مقدرة التعلم الذاتي من البيئة لدى كائنات العالم الحقيقي هي أن اكتساب المعلومات لا يتطلب وقتًا فحسب بل يكون دائماً محدوداً جداً. وذلك لأن الأجهزة الفيزيائية الطبيعية ـــ على عكس الأجهزة الافتراضية ـــ تكون دائماً عرضة للضجيج والعطل. ولأن العالم الحقيقي غني بلا حدود، فهناك دائما الكثير لابد من معرفته ومن المستحيل أن تتوفر معلومات كاملة عنه. ابتكر هيربرت سيمون (Herbert Simon) مصطلح العقلانية المقيدة (bounded rationality) للقرارات التي يجب إتخاذها تحت هذه الظروف. وبالإضافة إلى ذلك، فإن العالم الحقيقي له ديناميية خاصة به ـــ تحدث أمور وإن لم نفعل شيئاً ـــ وحيث أنه نظام ديناميكي غير خطي، فان امكانية التنبؤ عن البيئة ستكون دائماً محدودة جداً. وكما ناقشنا في الفصل التاسع عن بناء الشركات الذكية، وبسبب هذه الخواص فإن أدوات بناء نماذج مفصلة محدودة وزيادة تفاصيلها لا يجدي نفعاً. ومعطى "هوس التنبؤ" الموجود في الشركات وفي عالم المال، ومعطى موقف الثقافة الغربية من حيث أن كل شيء يمكن التحكم فيه، ونحن نشعر بأن التعرُّف على خصائص العالم الحقيقي، بالمقارنة مع العوالم

الافتراضية، رسالة جوهرية يمكن أن تقدم لنا العديد من الرؤى النافعة.

الجزء الثالث، والذي يعتبر الأصعب، يهتم بمبادئ التصميم. وبدلاً من سردها جميعاً مرة أخرى، دعونا فقط نؤكد على المسائل الهامة؛ و يمكن أخذ التفاصيل من خلال الجدول 12.1. إن إيجاد مباديء عامة للسلوك الذكي، وبناء المصنوعات اليدوية الذكية، وفهم الأنظمة البيولوجية. وبتحديد أكثر دقة، إن مبادئ التصميم هي في الواقع المبادئ العامة التي نبحث عنها. ولكن يمكن استخدامهما ايضاً على النحو الإستدلالي فعلياً لتصميم وبناء الكائنات الاصطناعية. وأخيراً، نستطيع تفسير هذه المبادئ بإعتبارها وصفاً لخصائص الأنظمة البيولوجية.

تطبق جميع المبادئ على الأنظمة الاصطناعية والبيولوجية الحيوية، بالرغم من أن بعضاً منها لها صفة هندسية أكثر من الأخرى. ومثال على ذلك: فإن التفسير الحيوي لمبدأ " التصميم النشوئي design for emergence " يعني وجوب التمعن في القوانين التى تؤثر على القيم المتجاورة للتفاعل والتي تؤدي إلى العلو في النمط الكلي السلوكي الذي ندرسه، مثل الأسراب في الطيور.

ويعني التفسير الهندسي وجوب تصميم مجموعة من القوانين التى تؤثر على القيم المتجاورة التى تؤدي إلى السلوك الشامل المرغوب فيه مثل تكتل الأجسام، كما في حالة الدراسة للروبوتات السويسرية.

كما ذُكر أعلاه، فإن مبادئ التصميم مجموعة في أربعة أجزاء: الثلاثة الأولى تتقابل مع المقاييس الزمنية الثلاثة. وتمثل الرابعة منظوراً مختلفاً، يعتمد على مجموعات التعداد السكاني أكثر من على الأفراد. وتتداخل مبادىء التصميم: والمجموعة الأولى هي الأكثر شيوعا وإنتشاراً. وبالرغم من أن توجهنا في الغالب نحو مقياس "هنا - و - الآن"، إلا أن بعض هذه القواعد يمكن تطبيقها على وجهات نظر أخرى. مثال على ذلك، مبدأ الثلاثة – عناصر متناهية الدقة، ومبدأ الكائن المتكامل، ومبدأ القيمة أيضاً يُطبَّق على منظور التطوير:

جدول 12.1
ملخص لمبادئ التصميم

الوصف	الاسم

Agent design principles :مبادئ تصميم الكائن

مبدأ الثلاث – عناصر متناهية الدقة Three constituents

لابد من أخذ (البيئة) المحيطة المخصصة، والمهام، والكائن دائماً بعين الاعتبار.

الكائن المتكامل Complete agent

لابد من أخذ الكائن المتكامل بعين الاعتبار في التصميم، وليس فقط العناصر والمكونات منعزلة.

العمليات المتوازية وضعيفة الترابط Parallel، loosely coupled processes

التوازي عبارة عن عمليات غير متزامنة، وتعمل جزئياً بطريقة ذاتية، وإلى حد كبير متقارنة وذلك من خلال التفاعل مع البيئة.

التناسق الحركي - الحسي Sensory - motor coordination

يتناسق السلوك الحركي - الحسي مع الهدف؛ حيث يولِّد تحفيزاً حسياً ذاتياً.

التصميم الزهيد Cheap design

إستغلال البيئة المخصصة والتفاعل؛ التقتير.

التكرار التبادلي

Redundancy	**يعتمد على التداخل الجزئي الوظيفي في العمليات الفيزيائية أو المادية المختلفة.**
التوازن البيئي Ecological balance	**التوازن في التعقيد الحسي، التحريك، والأنظمة العصبية: توزيع المهام بين الشكل الجسدي، والمواد، والتحكُّم، والتفاعل مع البيئة.**
القيمة Value	**قوى محركة؛ آليات تطويرية؛ تنظيم ذاتي.**

مبادئ التصميم للتطوير: Design principles for development

دمج أو تكامل مقاييس الزمن Integration of time scales	**المقاييس العديدة للزمن بحاجة إلى دمج أو تكامل في كائن واحد.**
التطوير كعملية تراكمية Development as an incremental process	**يبدأ بسيطاً، ثم يُبْنَى بتعاقب فوق ما تم تعلمه سابقاً.**
الاكتشاف Discovery	**لابد أن يكون لدى الكائن القدرة على الاكتشاف والتقييم، والذي يؤدي إلى أن الكائن يستطيع أن يكتشف من خلال نشاطاته الذاتية.**

يوفر التناسق الحسي - الحركي مع التفاعل الاجتماعي أقوى محرك للتطور.	**التفاعل الاجتماعي Social interaction**
لماذا تزداد دوافع التعقيد أثناء تطوير مراحل نمو الكائن (الوجود الجيني).	**دوافع التعقيد Motivated complexity**

مبادئ التصميم للتطورية: Design principles for evolution

يعتبر التعداد السكاني المتطلب الأساسي لوظيفة التطور.	**تعداد السكان Population**
سوف يسفر الاختيار المتراكم عن نتائج مثيرة فقط إذا أستغلت العملية التطورية عمليات التنظيم الذاتي.	**الاختيار المتراكم والتنظيم الذاتي Cumulative selection and self - organization**
لابد أن يتم تطوُّر "الدماغ" (التحكَّم العصبي)، جنباً الى جنب مع الجسد.	**تعاون تطورالجسد - و - العقل Brain - body co evolution**

للحصول على كائنات حية معقدة، فإن عمليات تطوير مراحل نمو الكائن (الوجود الجيني) لابد أن تكون مرمَّزة على مستوى الجينوم.	التعقيد المتدرج **Scalable complexity**
لابد أن تتكون الكائنات من عدد كبير من الخلايا؛ ولابد أن يعمل التطور فقط تعديلات بسيطة.	التطور كما يحدث في عملية السائل **Evolution as a fluid process**
صمم بأقل مايمكن ودع التطورية تعمل بأقصى قدر ممكن.	الحد الأدنى لتحيز المصمم **Minimal designer bias**

مباديء التصميم للنظم التجميعية: Design principles for collective systems

يجب اختيار المستوى المناسب من التجريد، ويجب تذكر بوضوح ما يؤدي اليه.	مستوى التجريد **Level of abstraction**
أوجد قوانين محلية للتفاعل تقود الى الأنماط السلوكية العالمية المرغوبة. **Find local rules of interaction that lead to desired global behavior patterns**	التصميم النشوئي أو الإنبثاقي **Design for emergence**

من الكائن إلى المجموعة
From agent to group

غالباً ما يمكن تطبيق مبادئ تصميم الكائن على الأنظمة التجميعية.

Homogeneity - heterogeneity

لابد من إيجاد تسوية بين الأنظمة التى تستخدم فقط التجانس - و - التغاير نوعاً من الوحدات أو روبوتاً، وبين تلك التي توظِّف أنواعا عديدة ومتخصصة من الوحدات.

تكون الكائنات الطبيعية دائما متكاملة وتمثل أنظمة دينامية، بغض النظر عن مقياس الزمن. يطبق مبدأ العمليات المتوازية والضعيفة الترابط ــــ مع تغيير بسيط بإعادة تفسير العمليات ككائنات متكاملةــــ أيضاً على الذكاء التجميعي. وكمثال نهائي، فإن مبدأ القيمة من منظور الآنية (هنا - و - الآن) متصل بشكل كبير (بمبدأ دوافع التعقيد: motivated complexity principle) من تصنيف التطوير، ومن (مبدأ الإختيار التراكمي: cumulative selection principle) من تصنيف التطورية. جميع هذه المبادئ متصلة بالدافع، مثل، مبدأ الغرض الذاتي (autotelic principle المستخدم في التطوير وفي (دالة الملائمة التطورية: the fitness function for the evolution).

ولنلقي الآن الضوء على العديد من الجوانب الهامة من خلال الأشياء التي تعلمناها أثناء تطوير هذه النظرية.

12.2 إضاءآت على مواضيع مُختارة

إن مجموعة السمات التالية عبارة عن الأفكار و الرؤى التي نشعر بأنها مثيرة، أو غير متوقعة، أو محفزة للتفكير بينما توضح أهمية التجسيد. هذه المجموعة غير المترابطة تبدأ ببعض الإضاءات النظرية، والباقي منها مرتَّب بناءً على المقاييس الزمنية الثلاثة.

من الهندسة إلى العلوم

يعاني المهندسون أحيانا من عقدة الشعور بالنقص وذلك لأنه غالباً ما ينظر اليهم الآخرون على أنهم "يبنون الأشياء فقط" ولا يؤسسون "لعلم حقيقي". وهذا بالرغم من وجود فائدة واضحة للهندسة على العلوم التحليلية: حيث تقتصر العلوم التحليلية على دراسة الأنظمة الطبيعية بينما يستطيع المهندسون بناء مايرغبون به، ويستطيعون استخدام أي نوع من المواد، بغض النظر عن تواجدها في الطبيعة أم لا. ولكن باستخدام المنهج التركيبي، الفهم من خلال البناء، والذي يستمد فائدته من مبادئ التصميم، نستطيع أن نتوصل الى نوعٍ من التكامل بين الهندسة و العلوم. إن التصميم يتعلق بالبناء، وعن المباني، وقطاع أعمال المهندسين. ولكن العلم يتعلق أكثر

بالتحليل و فهم الأنظمة الموجودة — في محيطنا كالحيوانات (لعلم الأحياء) والبشر (لعلم النفس)، وعلى وجه التحديد الدماغ (لعلم الخلايا العصبية الدماغية). على الرغم من أن العلوم التحليلية كانت قد حققت نجاحاً باهراً في الماضي، إلا أنه مع وجود الأدوات المتقدمة الآن — والتي تشمل الحاسوب وتقنية الروبوتات — فإن العديد من العلوم، وليس فقط الذكاء الاصطناعي، أصبحت تميل إلى المنهج التركيبي، وتوظف المحاكاة وتستخدم النماذج الحاسوبية التي تنعكس على العمليات الفيزيائية الكامنة. وبسبب المنظور الهندسي أصبح الذكاء الاصطناعي مجالاً أكثر تداخُلاً، وكما نُاقشنا في فصل "مسح المجال العلمي"، فهو يحتوي الآن، بالإضافة إلى علماء الحاسوب، وعلماء الأحياء، وعلماء النفس، وعلماء الخلايا العصبية الدماغية، و إلى مهندسي الالكترونيات و الميكانيكا، و أخصائي الميكانيكا الحيوية، والأنظمة الدينامية، و باحثي علوم المواد أيضاً: إن المنهج التركيبي، من خلال هندسة كائنات العالم – الحقيقي، وجَّه جميع الباحثين لكل هذه المجالات المختلفة سوياً وفي مسار واحد.

الذكاء كما يمكن أن يكون

لقد تحدثنا مراراً عن شعار الحياة الاصطناعية "الحياة كما يجب أن تكون". ومع وجود المنهج التركيبي فهناك إمكانية مثيرة تشير إلى أنه بإمكاننا اكتشاف الذكاء كما يمكن أن يكون. ولنتذكَّر مناقشتنا، على سبيل المثال، عن روبوتات الوحدات المرنة في الفصل السابع: ما هي أنواع السلوكيات الذكية التي سيعرضها روبوتٌ ذاتي التعريف (self - reconfiguring)، بإفتراض أن التعريف الذاتي لهذه الأنواع لا يتواجد في الأنظمة الطبيعية؟ أو لنتخيل أن دافعي الحواجز لبونقارد قد جُربت في بيئات افتراضية أكثر تحدياً. إن نوع دافعي الحواجز لبونقارد لا يتواجد في الطبيعة. مااللذي سيحدث لو تطورت أكثر لتؤدي مهاماً أكثر تعقيدا؟ و ما هي أنواع الأجسام والعقول التي ستمتلكها؟ هل ستكون لديها أنظمة عصبية مركزية مثلها مثل معظم الأنظمة الحيوية، أم سيكون لها أنظمة عصبية مختلف كلياً؟ أوفكِّر في القدرة الشبكية الضخمة لتقنية حاسبات كل مكان والتى في نقطة ما قد تقود إلى تركيبات غير متوقعة كلياً من الذكاء وقد لا تتواجد في الطبيعة.

التطبيقات الواسعة للنظرية

إحدى النتائج المدهشة لتطبيق النظرية في مناطق مختلفة هي أن أفكارنا عن الذكاء ليست مقيدة بتقنيات

محددة. وأينما أمكن تعريف خواص الكائن، هناك إحتمال للتطبيق. رأينا مثلا أن الأجهزة المستخدمة في مجال حاسبات كل مكان حتى الآن لها صفات كائن محدود، وغالباً ما تكون مقيدة بإستشعارات الإخال و إمكانية منعدمة أو قليلة في التحريك، وهكذا يتم الحد من مستوى ذكائها بشدة. و لكن لو كانت هذه الأنظمة مُزودة بقدرات الكائن (التحريك بالإضافة إلى الإحساس)، فإن منفعتها ستطال السحاب. إن تقديرات السوق حالياً لحاسبات كل مكان هائلة: حوالي 2% فقط من صناعة المعالجات الدقيقة توجه نحو الحواسب الشخصية؛ فيما يذهب الباقي إلى الأنظمة المتضَّمنة في العالم الحقيقي. في الفصل التاسع، الذي شارك في تأليفه خبير الإدارة الإستراتيجية سيمون جراند (Simon Grand) نظرنا إلى إنشاء قطاع الأعمال والشركات الجديدة، حيث من الممكن ترجمة الشركة على أنها كائن. إن الاستقراء المقدم من الشركات للمنظمات الاجتماعية الأخرى مثل المدن أو الدول ربما يقدم لنا مجالاً آخرا للتطبيق. فعلى سبيل المثال، وعلى غرار السوق، إنبثقت ظاهرة التوافق السياسي، التي يمكن فيها ممارسة مستوى محدود من التحكم.

التركيب الذاتي للمعلومات من خلال التنسيق الحركي - الحسي:
(Information Self - Structuring through Sensory - Motor Coordination)

يطرح العالم الحقيقي تحديات قد يصعب جداً التعامل معها فقط باستخدام برنامج حاسوب واحد. ولنتذكرمثالنا عن إبصار الحاسوب. و بينما تعمل اللوغاريتمات المتقدمة والمعقدة أحيانا، والتى طُوِرت لبيئات المصانع مليئة بالعديد من القيود، بشكل جيد، إلا أن الأمر لا يكون كذلك إذا ما طُبِّقت في حالات مختلفة في العالم الحقيقي، حيث تتغير المسافة بين الأ جسام والكاميرا بسرعة كبيرة. ومع ذلك، تستطيع الكائنات أن تتفاعل فيزيائياً مع العالم الحقيقي لتحول هذه التحديات إلى فرص. ومثال ذلك، هناك نقطة واضحة — و لكنها كلياً مهملة — والتى من خلال التفاعل مع العالم الحقيقي، يستثار التحفيز الحسي في القنوات الحسية المختلفة. وبناءً على نوع محدد من التفاعل، قد تتولد علاقات تبادلية مترابطة. مثلا، يولد تحريك الأصابع على حواف كوب القهوة في (correlations :علاقات تبادلية مترابطة وفي المجال ،(haptic:الإحساس باللمس عن بُعد

البصري، وفي طرق التحفيز الإستشعاري. و كنتيجة لذلك يكون الدماغ نشطاً — أي يمكن القول، أنه يصبح مترابطاً، وتكون هناك مواد خام لمعالجة أكثر. بالإضافة، إذا وُضِعت الإستشعارات في بنية الكائن في مواقع "ذكية"، فإن التحكم لاكتساب بيانات الإستشعار وتوليد العلاقات التبادلية المترابطة سوف يكون أمراً يسيراً: يمكن تحفيز إستشعارات اللمس على أطراف الأصابع، بحيث تكون كثفية ومتباعدة، بسهولة عندما تدير اليد حول جسم ما. بمعنى آخر، إن التوليد السهل للبيانات "الجيدة" هو نتيجة بنية اليد. ويعزز هذه العملية مرونة خواص نسيج اليد و نظام أربطة العضلات الذي يُمكِّن الأصابع من الإغلاق بسهولة حول الأجسام بأي شكل.

بدمج "استراتيجة" التناسق الحسي - الحركي مع الشكل الجسدي المناسب يتم تحقيق هدفين في آن واحد. أولاَ، الحصول على تحفيز إستشعاري غني بالقليل من الجهد، وثانياً، إنقاص تعقيدات التحفيز الإستشعاري بشكل ملموس من خلال التناسق الحسي - الحركي. لاحظ أن هذا "التقليل في المعلومات" يتحقق من خلال التفاعل الفيزيائي مع البيئة. وتلك رؤية مدهشة بالفعل، وإحدى واردات التجسيد الهامة.

العمليات الحاسوبية للشكل الجسدي:
(Morphological Computation)

هو أحد الآثار الجوهرية للتجسيد لتحقيق مهامه ـــ مثل المشي، و الجري، و السباحة، والتعرُّف وتحريك الأجسام، والطيران وتجنب العوائق، ـــ فالكائنات لا يمكنها فقط القيام بذلك بل لابد وأن تُفرِّغ بعض المعالجات العصبية بداخل هيئتها البنيوية وفي البيئة: بالنسبة للجري، فإنه يجب استغلال سعة تخزين الطاقة و مرونة خواص نظام أربطة الأعصاب؛ وبالنسبة للطيران و تجنب العوائق، يجب على الحشرات استغلال هيئة البنية الجسدية لأعينها المركبة حتى تعوِّض الاختلاف الظاهري للحركة، و للتعرُّف على الأجسام في العالم الحقيقي، فعلى الكائنات أن تقلِّص البيانات من خلال التناسق الحسي - الحركي؛ وبذلك تنتج العلاقات التبادلية المترابطة؛ ولتحريك الأجسام علينا أستغلال الشكل الجسدي ـــ تركيب البنية ـــ لليد وخواصها المادية. على سبيل المثال، أطراف الأصابع المشوهة و مرونة نظام أربطة العضلات.

لابد من اختيار المواد والهيئة البنيوية أثناء تصميم المصنوعات اليدوية بأي حال، لذا فلماذا لايتخذ الإختيارات الحكيمة التى يمكن أن تُستغل في العمليات

الحاسوبية لتركيبة الهيئة أو للشكل الجسدي؟ على أي حال، يبدو أن إحدى المشكلات التي تقيد إمكانات الكائن هي قرارات التصميم. وهناك إمكانية واحدة للحد من قرارات التصميم التى تتقيد بطبيعة الهيئة البنيوية (أو الشكل الجسدي) والمواد وذلك من خلال تقديم هيئات بنيوية وخواص مادية متغيرة. ولأن الدماغ باستطاعته أن يتحكم في صلابة و مرونة العضلات، فإن خواص المواد يمكن تكييفها لإحتياجات كل مرحلة خلال الجري. على سبيل المثال، تختلف الصلابة المطلوبة للتأثير على الأرض عن تلك المطلوبة في مرحلة الطيران. وعلى الرغم من أن خبير الميكانيكا الحيوية ستيفن فوجل (Steven Vogel) لا يطلق عليها العمليات الحاسوبية لتركيبة الهيئة أو للبنى الجسديةبشكل صريح، إلا انه ناقش العديد من الأمثلة في كتابه كفوف القطط والمصيدات (Cats' Paws and Catapults) عام 1998 م. وعليه يُمكن التغير في الهيئة البنيوية بحيث يُمَكِّن الكائن من أداء وظائف مختلفة تعتمد على الحالة. وإن تحقيق التغير في الهيئة البنيوية هو أحد أهم أهداف علم روبوتات الوحدات المرنه، كما تمت مناقشة ذلك في الفصل السابع.

وبالرغم من كبر نداء الحدس البديهي، فإن مفهوم العمليات الحاسوبية لتركيبة البنية أو للشكل الجسديما زال ينتظر تحديد الكميات: كم مقدار العمليات الحاسوبية منجزة بالفعل عن طريق زنبرك في مفصل أو بتغير في الهيئة البنيوية أو الشكل الجسدي؟ وربما لا يكون هذا هو السؤال الصحيح. و حتى إن لم نكن نعلم بعد ما هو السؤال، فإن لدينا الان حالة دراسة ملموسة نفكر فيها.

الدماغ لا يتحكم في الجسم:

من الواضح أن الدماغ يتحكم في الجسم؛ وكيف يكون غير ذلك ممكنا؟ عندما تحدثَ علماء أعصاب الدماغ عن التحكم في الحركة، فإنهم قد قصدوا بذلك التحكم العصبي. وعندما يتحدث علماء الروبوتات عن التحكم، فإنهم يقصدون المعالج الدقيق الذي يشغِّل برنامج التحكم، والذي بدوره يتحكم أيضا في المحركات والتى تُحرِّك أطراف الروبوت فعلياً. إذن ما هي المشكلة؟. حسناً، إن للجسم قواه المحركة الكامنة كما أن القوى المحركة للنظام العصبي لابد وأن تتوافق مع حركة نظام الجسم. وكما أظهرستين جريلنر ((Sten Grillner في تجاربه على السمك الجلكي، فإن ترددات مولدات النمط المركزي تعمل عندما تكون جزءا منفصلاً من النخاع الشوكي وتكون مختلفة عن تلك الترددات التى تتكامل بصورة

طبيعية في جسم الحيوان. ويؤدي هذا الى أن)المتّذبذبات العصبية (neural oscillators ليست وحدها التي تحدد سلوك الجسم، و لكن الجسم أيضًا يحدد ترددات) الدوائر العصبيةneural circuits (. وبمعنى آخر، فإن هناك إرتباط تبادلي مشترك أو باستخدام لغة الأنظمة الدينامية، هناك علاقات التبادل المرن.

وعلى مستوى القصصية، عندما تجري على أرض مسطحة بسرعة معينة و يبدأ الممر في الانحدار، فإنك اتوماتيكي تجري أسرع لأنك —أو العقل — تعطي الأوامر للعضلات للتحرك بسرعة أكبر، و لكن لأن الجسم ينجذب للأسفل بسبب الجاذبية الأرضية، التي تقود إلى التحرك بصورة أسرع والذي بدوره يسارع المتبذبات العصبية في الدماغ (أو النخاع الشوكي). و يبدو أن المفهوم التقليدي للتحكم يحتاج لإعادة فهم أساسي. حيث فكرة أن الدماغ ليس في حالة تحكم كامل ضد تفكيرنا الكارتيزي التقليدي: يُعتبر الدماغ هو التجريد الفيزيائي للعقل ولهذا يكون التحكم من خلال الدماغ. و سوف نعود إلى العلاقة الدقيقة بين نظام الجسم والعقل و على سبيل المثال، إلى مشكلة الجسد والعقل الشهيرة كما هو موضح أدناه.

استغلال الديناميـة الحقيقيـة: (Exploiting Intrinsic Dynamics)

أحد أهم أشكال العمليات الحاسوبية لتركيبة الهيئة أو للبنى الجسدية تُوفَرها الديناميـة الأساسية للنظام الطبيعي، أو:(الجاذبات الديناميـة .attractor dynamics) وقد يقود استغلال هذه القوى الديناميـة إلى إنجاز المهام بالكامل مجانا و بدون تحكم. وبإستغلال هذه الديناميـة يمكن أن تقود إلى تحقيق جميع المهام "بدون تكلفة "، وبدون تحكُّم. إن الروبوت ذو السير الديناميكي مثال رئيسي: يستعرض الكيفية التى يُوازن – الجسم ذاتـه أثناء المشي طالما أن بيئته وهيئته البنيوية مناسبتين، أو باستخدام لغة الانظمة الديناميـة، طالما أنه في منطقة حوض الجذب للمشي. وأيضا فإن الروبوت بابي ذو الأربعة أقدام قدإستعرض التوازن الذاتي بشكل جميل. وقد يعتقد شخص ما أن وضع المساند المطاطية أسفل أقدام الجرو الروبوتي فكرة جيدة لزيادة الاحتكاك، لأن الكائن لن ينزلق كثيراً، مقارنـة بالأقدام المكشوفة على طبقة الألمنيوم. ولكن إذا تم وضع المساند المطاطية فان احتمالية سقوط الروبوت ستكون أكبر، لأن سطح الألمنيوم مطلوب لدعم حدوث الثبات الذاتي. أو بإستخدام، لغة النظم الديناميـة، مرة أخرى، يمتد الإنزلاق

الى منطقة حوض الجذب بحيث يتوافق مع نمط المشي الثابت.

وهناك طريقة أخرى مدهشة لاستغلال الدينامية الأساسية وهي للتعلُّم. لأن دينامية الكائن طبيعية بالنسبة للنظام ذاته، وبالتالي فإن آليات التعلم لابد أن تستفيد منه؛ وهذا على ما يبدوا الذي تفعله الكائنات الحية، ولهذا نحن نود أن نستغل هذه الفكرة في علم الروبوت أيضاً. فلنفترض أن لديك الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي، في (biped walker) مثلاً، روبوت ماشي ذو قدمين منحنى بدون تحكم أو مشغِّل خارجي. إذا وضعته الآن على سطح منبسط ووفرت تشغيلا قليلا جداً، فسوف تكون حركته قريبة جداً من حالة الجاذب ـــ فمثلاً، في منطقة حوض الجذب ـــ التى تتوافق مع نمط المشي "الطبيعي"، يستغل ديناميته الأساسية الذاتية. إذا كان الكائن في إحدى أحواض الجذب، وبإعتبار أنه يفعل بذلك الشيء الصحيح، فإنه فقط بقليل من التعديل في التحكم العصبي سوف يجعله يمشي بسلاسة على أرض مستوية. هذا التأثير بالتحديد تم إستغلاله من قبل ستيف كولينز ((Steve Collins وآخرون(كولينز، 2005م، Collins et al) حيث تعلم الروبوت المشي على

السطح المستوي تقريباً مثل إدلاءه على السطح المنحني
.((وهذا يتوافق مع ديناميات‍ه الأساسي‍ة

التجسيد كمتطلب سابق للإدراك (Embodiment as a Prerequisite of Cognition)

لقد رأينا في الفصل الخامس أن التطوير عملية تراكمية تزايدية ومستمرة. ومعني تراكمية تزايدية أن الكائن الحي يبني ما لديه حالياً على ما تعلمه سابقاً. ومعني مستمرة أنه لا توجد مراحل متقطعة يمكن لقدرات وطبقاً لثيلين ."kick in" :معينة كالإدراك أن " تدخل م)، فإن1994) Thelen and Smith)) وسميث التطوير الحسي - الحركي المستمر يُمكِّن الطفل من التصنيف وبصفة عامة يمكنه أن يدرك العالم الحقيقي فيتعلَّم بشكل تراكمي تزايدي الفروقات المتقدمة. حتى لو أن التطوير مستمر، فإن القدرة على التمييز الأساسي تحدث أحياناً على نحو مفاجئ. وعند تطبيق استعارة الأنظمة الديناميـة، قد نتمكن من شرح هذا الانبثاق المفاجئ كاكتشاف لحالة جذب جديدة.

التصنيف هو أحد قدرات الإدراك الأساسية، موقعه في أعلى مستوى للقدرات، ويشمل ذلك التفكير ونهايةً بالوعي. وعند الحديث عن العمليات الحسية - الحركية، والإدراك، والتفكير من وجهة النظر التطويرية، يصبح

واضحاً انه لا يمكن رسم حدود واضحة بينهم ــــلانها سائبة ومشوشة. ولكن هذا ليس مهمً جداً. ما يهم هو فهم الآليات التي تساند التطوير. باستخدام مثال مخطط في الفصل الخامس ،(body schema) لشكل الجسم قدمنا بعض الأفكار عن كيف يمكننا أن نتصور ظهور الإدراك خلال الوجود الجيني. هذه الفكرة للادراك كنشوء من عملية التطوير أصبح لها بعدً أعمق. وطبقاً لافتراض حتى أكثر ،(Lakoff - Núñez)لاكوف - نيونيز المفاهيم الرياضية التجريدية في النهاية لها أصل ــــ لها ترسيخ ــــ في التجارب الجسدية، التي إنعكست في مخطط شكل الجسم. والأخيرة، بدورها، هي نتيجة الديناميات الأساسية المعقدة للجسم العصبي. ولقد أستخدم العالمان لاكـــــــوف ونيونيز الفكرة العامة لاستعارات المفاهيم (والتى يعود أصلها الى علم اللغويات)، على سبيل المثال، عن دفء العاطفة، كما في أو في " لقد " warm regards :" التَّحيات الدافئة he was really :كان حقاً متجرداً من العاطفة نحوها وذلك ليدعم دعوى هؤلاء " cold toward her العلماء. فقد جادلوا أن الذي يجعل هذه الاستعارة جيدة هو "الهيكل الاستدلالي "inferential structure: المحفوظ: فلو أن دافئ تعني العاطفة، فإن أدفأ تعني

عاطفة أكثر. لأن هذه الأنواع من الاستعارات تُبنى على تجارب جسدية وفي نهاية المطاف يظهر شيئاً مثل مخطط شكل الجسم، بمعنى، أنها مجسدة. ولكننا لن نواصل المضي قدماً في فكرة الاستعارات ـــ إنه مجال ضخم جداً في حد ذاته.

باختصار، من الصعب تخيل أن التفكير التجريدي ممكن أن يحدث خلال حياة الفرد دون أن يوفر الجسم التحفيز الحسي أو الاستشعاري المناسب، وهو المادة الخام للدماغ حتى يعمل. ونكرر فإن ذلك يبدو متوافقاً مع فرضية لاكوف ونيونيز بأن التفكير له أصل في أجسادنا وأنه يتشكل من خلاله. ولعلنا أيضا نود أن نقول أن الجسم، أو بمعنى أصح التجسيد، هو مطلب أساسي للإدراك العالي المستوى.

ترسيخ الرمز من خلال الديناميات المعقدة:

(Symbol Grounding through Complex Dynamics)

تتصل مسألة ترسيخ الرمز مباشرة بالرؤى السابقة وهي أن التفكير يتطلب جسدا. ولكن بدلاً من النقاش حول المتطلبات السابقة للإدراك ومن أين يأتي، فإننا نبدأ من الافتراض بأن يكون هناك جسدً ونسأل عن كيف يمكن لرموز مجردة، وهي كيانات متقطِّعة (فالرمز هو،

بالتعريف، إما رمزاً او لا) ظهرت من داخل نظام ديناميكي مستمر يتشكَّل منه الكائن. واحدة من الرؤى المميزة هو تقديم الانظمة الحركية - الحسية المعـــقدة التي تمكِّن من ،complex sensory - motor)) دينامية الجسد المعقدة في الكائنات، والتى تشكِّل متطلباً سابقاً لترسيخ الرمز. و بطريقة مختلفة، فإن "السقوط: going down " يمكننا من "الصعود: going up والعمل على التحريك في عمليات المستوى المنخفض :" الحسية - الحركية بصفة عامة يفتح الفرصة لترسيخ الرمز، إذا جاز القول. نحن نشك بقوة في أن التناسق الحسي - الحركي المعقد، سوف يتحول ليصبح أساساً للإدراك العالي المستوى لأنه يمكِّننا من التصنيف المعقد في العالم الحقيقي، وفي الوقت الحالي لا يوجد لدينا دليل على عكس ذلك. علي أي حال، توفير هذا مع تجارب على الروبوت والمزيد من الابحاث على السلوك الحيواني لايزال عملاً باقياً لإنجازه.

نحن شاكرين وممتنين لجموع الناس العاملين في مجال الأنظمة الدينامية، خاصة لهؤلاء الذين لفتوا أنظارنا لهذه القضية من جامعة طوكيو ـــ وهم ياشو كونييوشي (Yasuo Kuniyoshi)، ويوشيهيكو ناكـــامورا Yoshihiko Nakamura))،

الذين ،Masafumi Okada)) وماسافومي أوكادا قدمناهم في الفصل الخامس. وعلى الرغم من أننا قد قمنا فقط ببعض الخطوات الأولية القليلة لتوضيح كيف يمكن لشيء مثل مخطط الجسم أن يُكتسب ويستخدم من قبل الكائن، ونحن نشعر أن فكرة ربط الجاذب الديناميكي مع معالجة الرمز بها قوة تفسيرية كبيرة.

ولكي نكون متأكدين، فإن المنهج المطروح هنا مختلف عن نظرية ستيفن هارناد (Stevan Harnad)، الذي صرّح بالمشكلة بوضوح. بدأ هارناد من الافتراض القائل بأن هناك نظام لمعالجة الرمز وناقش كيف يمكن أن يكون ذلك متصلاً بالعالم الخارجي. ولكن المنهج المقدم هنا ينظر للمشكلة من اتجاه آخر: بدلا من افتراض نظام معالجة الرمز، فالهدف هو إيجاد جوانب للأنظمة الديناامية التي يمكن أن تفسرعلى أنها معالجة رمز من قبل مراقب خارجي وأيضاً من خلال الكائن نفسه. وعليه نقترح بأن الجذب الديناميكي قد يكون طريقة واعدة للإتجاه قُدُماً.

التطور الاصطناعي في العالم الحقيقي:
(Artificial Evolution in the Real World)

كائنات تسلية ومن (Karl Sims) طوَّر كارل سيمز دون شك فقد شكَّلت أحد المعالم البارزة في تطوير التطَّور

الإصطناعي: كانت عبارة عن كائنات مجسدة، وقد تم اختبار لياقتها من خلال علم الفيزياء القائم على المحاكاة. نحن نعلم أن التطورية أساساً تستغل كل ما هو متاح في العالم. ولو كان العالم يتكوَّن من محاكاة، سوف يحتوى فقط على ما نضع به فعلياً. بالمقارنة، لأن العالم الحقيقي غني بشكل لا نهائي، فإن هناك دائماً، الى حد ما، ملعباً تستطيع فيه التطورية من "إغتنام الفرص:opportunities seize". وهكذا، لوا أردنا أن نحرر القوة الكاملة للتطور الإصطناعي، يجب علينا أن نربطها بالعالم الحقيقي. لقد رأينا أمثلة مدهشة عن هذا والتى فيها خصائص العالم الحقيقي لم يعلم المصممون أنها أُستغلت. فقد استرجع تجارب أدريان ثمبسون (Adrian Thompson)، والذي إستخدم التطورية بطريقة مذهلة في دارات كهربائية بسيطة استغلت التفاعلات الكهرومغناطيسية الدقيقة بين المكونات غير المترابطة. وكانت تجربة جون برد (Jon Bird) وزملاءه الأكثر درامية، حيث كان الهدف هو إنشاء دارة تطورية متذبذبة oscillatory circuit)) بدون استعمال ساعة داخلية. وقد جاءت المفاجئة للجميع، أن الدائرة التطورية تحولت إلى (مستَقْبِل لاسلكي radio: receiver)، إلتقط إشارة الساعة من جهاز حاسوب

مكتبي قريب! قد تقول هذا غش، من ناحية اللوغاريتم التطوري، لكنه غش "ماهر" جداً: فلقد استغلت الإشارة الموجودة في الهواء. فإن المستَقْبِل اللاسلكي يمكننا من النظر اليه على أنه نوع جديد من (استتشعار الوحدات: modality sensor). وهو مثال جميل لفكرة الاستجابة (إستغلال المعطيات من البيئية المحيطة المخصصة). و في بعض الحالات، فإن التطور الاصطناعي يتفوَّق على المهندسين البشر في مشكلة التصميم: الأنبوب إنغو ريشنبرغ المقوس الغريب (Rechenberg Ingo)، و هوائيات ناسا (NASA satellite antenna). (انظر الفصل السادس).

إيجاد حلول للمشكلات " المستحيلة ":"

عن كيفية (Bernstein) تذكر مشكلة برنشتاين تعلم التحكم في جسم معقد بدرجات كثيرة من الحرية، أو مشكلة تطورية العين: كلاهما صعب جداً. الإجابة في كلتا الحالتين بأن الطبيعة "إختارت" في كلتا الحالتين أن تبدأ بحل غير كامل، والذي بعد ذلك صُقِل بصورة تراكمية تزايدية وأصبح أكثر تفصيلاً. وبتحديد أكثر، فإن الحلول الأولى تكون فعَّالة الى حد معين ثم تبنى علي الحلول الأخيرة التي تم تعلُّمها سابقاً ـــ فهذه هي العمـــلية التراكمية التزايدية. وفي التطوير الإنساني، فإن الطفل

لديه فقط تحكّم رديء بأطرافه وقرار منخفض في أنظمته الاستشعارية. ولكن هذا كاف لإكتساب نوع أساسي من المقدرة على التناسق الحسي - الحركي. وبمجرد تحقيق الوضع الأخير، فإن دقة التحكم الحركي وقرار الأنظمة الاستشعارية يمكن زيادته باستمرار (والقصة أكثر تعقيدا من ذلك، ولكن هذه هي الفكرة الأساسية). وبشكل مشابه، إذا أنتج الطور البدائي شيئا ما، مثلاً خلايا حساسة للضوء ــــ ليست جيدة تماما كالعين الكاملة، ولكنها أفضل من عدم وجود أي طريقة لردة فعل تجاه الضوء ــ فإنها توفر فائدة أكيدة ويكون للكائن العضوي إمكانية أكثر للعيش لمدة أطول لكي يتمكن من نقل جيناته لذريته. وسوف يحدث التكاثر، مما يزيد من احتمال كون الطور سيصبح قادراً أن يتحسَّن بناءً على ماسبق وجوده، وهكذا دواليك.

إذا أُكمِلت التصاميم أو السلوكيات المعقدة جداً دون قيود، فإن احتمال إيجاد حلّ سوف يكون إفتراضياً صفر بمعنى أن المشكلة تكون "مستحيلة". على سبيل المثال، تخيل مثلا هذين الحدثين غير المحتملين: طفلاً ينسِّق فجأة بين كل درجات الحرية في جسده العلوي، وذراعه، ويده، وأصابعه ليلتقط كسرة خبز؛ ومجموعة من التحولات المتزامنة التي تشكل مجموعة من الخلايا

المتقدمة في عين لها وظيفة كاملة خلال جيل واحد. ومع المنهج التراكمي التزايدي للتطوير والطَّور، فعلى أى حال، يمكن ايجاد الحلول.

12.3 رؤية الأشياء بشكل مختلف:

لقد غيَّرت العلوم، منذ بداياتها، باستمرار الطريقة التي ننظر بها لأنفسنا وللعالم من حولنا. غالباً ما تكون هذه عملية تدريجية، ولكن في بعض الحالات تكون مفاجئة ودرامية. على سبيل المثال أظهر نيكولاس كوبرنيكس (Nicolaus Copernicus) (1473م - 1543م) أن الأرض تدور حول الشمس بدلاً من عكس ذلك. وقد كان لهذا أثر عميق في كيفية رؤيتنا نحن كبشر لمكاننا في الكون. وتغير آخر في طريقة تفكيرنا نجَم عن نظرية التطور لداروين (Darwin) في الإختيار الطبيعي، في القرن التاسع عشر. هذه النظرية التى تنظر إلى أن الإنسان على أنه لم يخلق، ويتشكل كاملاً، بالمنظار الإلهي، ولكنه بدلاً من ذلك شارك أسلافه من الشامبانزي وبالمثل فهو نتيجة قوى التطور، غيرت كيفية علاقتنا مع الإله والمخلوقات الأخرى على الأرض[36]. ولايكاد يمضي أي وقت بدون إكتشاف علمي وبتطبيقات عديدة جداً لا تقتصر فقط على مجال العلوم بل تمتد للعالم بأسره. ومع دورة القرن العشرين،

أدَّعى سيغموند فرويد (Sigmund Freud) أن سلوكنا تقوده قوى لا تقع تحت تحكم الوعي. واذا كانت نظرية فرويد، التى تشكل أساس نظرية الاضطرابات النفسية العصبية (psychoanalytic theory of neurosis)، حتما حقيقية، فهناك تطبيقات هائلة لمفهوم الإرادة المطلقة (انظر أيضا صندوق التوضيح 1.1). و في منتصف القرن العشرين، منح كلا من جيمس واطسون (James Watson) وفرانسيس كريك (Crick Francis) مناصفة مع موريس ويلكينز(Maurice Wilkins) جائزة نوبل للعام 1962م لاكتشافهما (الحمض الخلوي الصبغي: deoxyribonucleic acid) المعروف بإسم (دي إن آيه: DNA). والذي يحمل معلومات الحياة الوراثية. وهذا الاكتشاف أكَّد أن لدينا الكثير من الأمور المشتركة مع جميع أشكال الحياة المختلفة — ويشتمل حتى على الديدان الزاحفة وديدان الخمائر — أكثر بكثير مما نعترف به. نظرياً، هذه الرؤية، مرة أخرى، تقلل من الدرجة التي يشعر بها البشر أنهم مميزون أو فريدون. والاكتشاف الآخر المثير كان قريباً جداً — فواحدة من الرؤى المهمة لمشروع الجينوم الإنساني (Human Genome Project) تمت مناقشته في الفصل

السادس، وهو عدد صغير جداً للجينات التي يحتوي عليها الجينوم الإنساني، حوالي (000، 20) إلى (000، 25) بدلاً من الرقم المقدر سابقا وهو (000، 100). وبالنسبة للعلماء، فإن تطبيقات هذا الاكتشاف كانت ظاهرة معقدة جداً مثل البشر (بعقولهم الضخمة والمعقدة) ويمكن نموها بعدد قليل من الجينات. وكما ذكرنا، فان لديها ((C. elegans الدودة الزاحفة سي. ايليقنس تقريبا نفس عدد جيناتنا، ولكن لدينا مايقارب 100بليون خلية عصبية في أدمغتنا بينما سي. ايليقنس .C elegans) لديها 302 فقط.

أدت بنا كل هذه الاكتشافات، نحن البشر، إلى رؤية الأمور بصورة مختلفة. وبمعيار أصغر بكثير، نود الآن تقديم بعض الإيضاحات والتي إلى حد ما غيرت أفكارنا عن الذكاء، وبالتحديد آليات السلوك الأساسية. ولأننا ناقشنا جميع هذه الأمثلة سابقاً، سوف نعطيها هنا وقتاً بسيطاً فقط.

وحتى يستطيع الروبوت القيام بعملية التنظيف — لترتيب مكعبات الستايروفوم الموزعة في كتل — عليه أولاً أيجاد مكعب، ربما باستخدام كاميرا، ولابد من تحريك المكعب إلى الأعلى، ويرفعه بطريقة ما، ويبحث عن أقرب كتلة، وينقله إلي تلك الكتلة، ويفرغها هناك. كيف يمكن

فعل ذلك بطريقة أخرى؟ تستطيع " الروبوتات السويسرية " التنظيف بدون تمييز ما يجب أن تنظفه وبدون البحث عن الكتل التي يجب عليها أن تضع المكعبات بها. فهي تحقق هذا عن طريق استغلال القيود المحددة بالبيئة المحيطة المخصصة: والميدان المغلق، والحجم، والشكل، ووزن المكعبات، والوضع المناسب للأستتشعارات.

يتطلب المشي مراقبة دقيقة لمسارات حركة المفاصل، وإلاَّ فكيف يكون المشي ممكناً؟ الروبوت ذو السير الديناميكي السلبي، من خلال إستغلال الديناميية الكامنة و الهيئة البنيوية الذاتية (قدم عريضة، وتأرجح معاكسا لحركة الذراع، والتأرجح السلبي لحركة الساق) يستطيع المشي بدون أي تحكم على الأرض المنحدرة، و بتحكم قليل جداً على الأرض المسطحة.

يتطلب التحريك السريع في الروبوت سرعة عالية جدا للإلكترونيات بسبب الطلب العالي من تكرار دوائر الاستشعار الذاتي ((sensory feedback loop حتى تعمل فى الوقت الحقيقي. يستطيع الروبوت الرباعي الأرجل " بابي" أن يجري بنمط مشية ثابتة وتقريباً بدون أي إلكترونيات وبدون أي إستشعارات من أي نوع كانت. ولكن باستغلال الخصائص الديناميية الأساسية كما تحدد

الترددات الإهتزازية، فإن توزيع الوزن علي الروبوت، وبمرونة الحلزون السالبة على المفاصل، وتشويه المواد، سوف ينتهى في حالة جذب بمشية ذات نمط ثابت. وطالما أن متغيرات بابي تقع في منطقة حوض الجذب (وهو قريب من نمط المشية الطبيعية)، فسوف يستقر ذاتياً، وبذلك تصبح تحرُّكاته ثابتة و بدون تحكم واضح.

وإذا كانت ستة أرجل متعاونة في المشي، فلابد أن يكون هناك جهاز تحكم (controller) مركزي شامل. ولقد تبيَّن أن الحشرات لا يوجد لديها جهاز تحكم مركزي شامل؛ وبدلاً من ذلك، هناك أجهزة تحكم متجاورة مستقلة للأرجل (للأرجحة الأمامية، والدفع الخلفي، وحركات الصعود والهبوط). إذا، فكيف يكون المشي المتناسق ممكنا؟ هناك اتصال شامل وكلي بين الأرجل، ولكنه من خلال التجسيد والتفاعل مع البيئة بدلا من خلال النظام العصبي. دعونا نتذكر من الفصل 4 أنه إذا دفعت الحشرة برجل واحدة إلى الخلف، فإن زوايا مفاصلها في الأرجل الأخرى التى على الأرض سوف تتغير وفقاً لذلك. وهكذا، كل ما يلزم للاتصال الكلي الشامل بين الأرجل هو إستشعارات زوايا لإستكمال الدورة من خلال البيئة. وتملك الحشرات إستشعار الزوايا هذه.

وحتى تتم مهمة التعلم اللاحق بالمكافأة، على الكائن أن يتذكر قراره السابق ليُحلَّل أياُ من تلك القرارات صحيح وأي منها خاطيء. إحدى المشاكل الأساسية في تعليم الآلة هي (تعيين الثقة أو اللوم :assignment credit or blame): يستقبل الكائن الإشارة، والمكافأة في مهمة تعليم اللغز، وبعد فترة عليه أن يقرر من أي طريق سوف يستدير. إذا لم يحصل على المكافأة، عندها عليه أن يكتشف أي من قرارته كان غير صحيح. ومن الواضح، حتي يكون قادرا على فعل ذلك، يجب أن يمتلك ذاكرة لها سعة محددة ليتذكر تسلسل القرارات. لكن فأر سايمون بوفيت الاصطناعي يستطيع التعلم اللاحق وبدون ذاكرة واضحة " "T بالمكافأة في لُغز متاهة للأحداث الماضية، وذلك فقط بواسطة التعليم الفوري بالإرتباطات بين الإستشعار وبين حركة الخلايا العصبية الدماغية. ويكون هذا ممكنً، لأن وظيفة الذاكرة التفريغ (التنصيب :scaffolding)، حيث يستغل في بيئة الكائن تفاعلاته مع العالم الحقيقي.

تتطلب الكفاءة الاجتماعية مهارات إدراك متطورة للتعرُّف على الحالة الداخلية لشخصية فرد آخر، ولكن أيضاً تتطلب منطقا فطريا سليما وفهما جيدا لقوانين التفاعل الاجتماعي. وبعبارة أخرى، يتطلب مستوى عاليا

من المهارات الإدراكية. والتفاعل الاجتماعي للروبوت كيسمت يحقق كفاءة اجتماعية في التفاعل مع البشر —— أو على الأقل يبدو ذلك للمراقب الخارجي —— من خلال عدد من ردود الأفعال الأساسية التى يتم إثارتها وتناسقها بشكل كبير من خلال تفاعلها مع البيئة: موقع الصوت (توجيه الرأس نحو الضوضاء العالية)، والتوجه نحو الحركة السريعة، والمتابعة البطيئة للأجسام المتحركة، والتَّعوُّد (توقُّف النشاط بعد فترة إذا لم يكن هناك أي تغيير في البيئة). فإذا كان الروبوت كيسمت يتشارك في "محادثة " وشخص ما دخل من الباب (محدثاً ضوضاء عالية)، عندها يستدير برأسه نحو (موقع الصوت)، ثم يتتبع الشخص الذي دخل منذ فتره (والمتابعة البطيئة للأجسام المتحركة)، بعدها يصاب بالملل بسبب (التَّعود)، وعندها يستدير عودة إلى "المحادثة": كما تتوقعون من أي شخص مؤهل اجتماعياً!

إذا أردت العثور على اقصر طريق إلى مكان معين، فلابد أن يكون لديك مفهوم عن المسافة، أو على الأقل يجب أن تكون لديك طريقة ما لمقارنة مسافتين لكي تقرر أيهما اقصر. ولكن النمل يستطيع أن يجد اقصر طريق إلى مصدر الغذاء، دون أن يكون لديه أدنى فكرة عن المسافة، ببساطة من خلال وضع مادة الفيرمونات في أي

مكان يتجه إليه ويتبع التركيز الأعلى للفيرمون. فإذا كان مصدر الغذاء قريباً، سيعود النمل إلى مسكنه بعد فترة قصيرة من الزمن وتكون لمادة الفرمون زمن أقصر للتبخر مما لو كان المصدر أكثر بعداً. وكلما زاد تركيز مادة الفرمون سيجذب ذلك نملاً آخر، وعندئذ سيضع النمل الجديد مادة فرمون أخرى على السابقة، ...إلى آخره. وهذه عملية تنظيم ذاتي تجعل ما يبدوا مستحيلاً بسيطاَ جداَ. ونكرر مرة أخرى، يفعل النمل ذلك من خلال استغلال تفاعله مع البيئة.

لا يمكن أن تكون الحاسبات مُبتَكِرة. وكيف يمكنها أن تكون كذلك، فالحاسوب ما هو إلا آلة حاسبة فقط! وقد ناقشنا في هذا الكتاب العديد من المصنوعات اليدوية المتقدمة والمبتكرة والتي " صممت بالحاسوب": الأنبوب المحدَّب (hunched pipe) لريشنبرغ، والهوائي التطوري لناسا، والمستقبل اللاسلكي لجون بيرد، ودافع الكتل (block pushers) لبونجارد. وكما رأينا، فان الحاسبات يمكن أن تكون مُبتَكِرة عندما تستخدم نظم تطورية للتصميم ـــ خاصة إذا كانت متصلة بالعالم الحقيقي. لذا، فقد آن الأوان لطرد أسطورة كون الحاسوب فقط مجرد حاسب أعداد.

وبإمكاننا إكمال هذه القائمة تقريباً إلى ما لانهاية، لكن الأمثلة الواردة هنا تكفي لإيضاح نقطة وهي أن الأشياء يمكن دائما أن تُرى بصور مختلفة. وفي الختام، سنعود باختصار إلى مشكلة الجسم – العقل. وكما رأينا سابقاً، اقترح رودني بروكس، ربما، أن الذكاء البشري والوعي البشري قد يكون ببساطة قليلاً مثلا، ميكانيكيات كوغ المستخدمة في الروبوت شبة الإنساني كوغ، و(خليفتة الروبوت كيسمت). أن الآثار المترتبة على كوغ، والروبوتات العديدة الاخرى التي تحدثنا عنها في هذا الكتاب، هو أن الذكاء أو الوعي ينشأ من مشاركة العديد من عمليات رد الفعل البسيطة، ومن التحكم الذاتي بصورة كبيرة وبآلية خالصة. وغني عن القول، أنه إذا كان بروكس و باحثون آخرون يتبعون نهجه وهم على حق، فهذا سوف يغير بعمق كيفية رؤيتنا لأنفسنا والعلاقة بين العقل والجسد.

12.4 الخاتمة:

في الرواية (David Payne) يخبر ديفيد باين المميزة (اعترافات من الطاوية في وول ستريت:Confessions of a Taoist on Wall Street) وهي قصة ولد صغير، كنيته سن ون ((Sun I، مولود من أم صينيه و أب أمريكي عَمِل طياراً

محارباً في الصين. توفيت والدته عند ولادته، وعاد والده إلى موطنه الأصلي بالولايات المتحدة الأمريكية؛ عاش الولد وتربى وحيداً في ديار الرهبان. وتولى رعايته وقد كان الدير .(Wu) "معلمه رئيس الطهاة واسمه "وو على صخرة كبيرة في أعلى النهر. ومن إحدى واجباتهم اليومية كانت نقل الماء من النهر إلى الديرة عبر طريق وعر. ويتذكر الولد انه في كل مرة يصلوا إلى قمة الصخرة يكون دلوه فارغا، لان الماء كله يكون قد انسكب منه، بينما يكون دلو معلمه "وو" دائما ممتلئ. وهذه توقعات سن ون: لقد كان صحيحاً. ببعض من الحظ الاستثنائي أو بالمهارة التي يمتلكها المعلم "وو" انه لم يفقد قطره واحده من الماء، بالرغم من أنه صعد الدرج بضعف سرعتي. (حاولت أن اقلل من خسائري بالتحرك ببطء، بالتخطيط المستقبلي لحركتي وبرفع كل رجل بتأني وعناية).

لم أفهم "، اعترفت له. " لا بد لك أن تعرف نوعا "
." من الحيلة. اشرح طريقتك

أ لم تكتشفها بعد. بالضبط أنها هكذا – الإفراط " ...
"....في الطريقة - التي تربكك، وتجعل دلوك تقريباً فارغا
" إذا كنت ذكيا، فكيف تفعلها إذا؟ "

" كيف افعلها؟...أغمض عيناي ولا أفكر في شيء.
أفكر في مكان آخر. قدماي تجد طريقها بدوني، حتى على
الأرض غير المستوية البتة. فكيف بإمكاني أن أخبرك
كيف فعلتها ؟.... فأنا لا أستطيع حتى أن أتذكر نفسي !
(باين (Payne): 1984، 19 - 18 ص)

الملاحظات

الفصل 2

1. يعتبر مجال تعلُّم الآلة ذو صلة بالذكاء الاصطناعي، ولكنه يميل إلى التركيز على النماذج الحاسوبية في التعليم، بينما يهتم الذكاء الاصطناعي بجميع أوجه الإدراك الإنساني.

2. في الواقع نحن لا نقول " تحكم "، لان هذا يوحي الى وجود الدماغ، والمتحكم، والجسد، كما أننا سوف نناقش لاحقاً، كلا من الدماغ والجسد يؤثر كل منهما على الآخر. فلهم إرتباط تبادلي مشترك.

3. تعني تغير الأنماط (Spatiotemporal :المعاني الزمنية والمكانية) في المكان والزمان: فإذا كنت مراقبا لمنطقة ما في (المصفوفة :grid)، سيكون هناك تغيير، ولكن الأنماط المتجاورة سوف تتحرك فوق المصفوفة.

الفصل 4

1. هذا المصطلح يستخدم في مجالات علمية أخرى حيث توجد معاني مختلفة. ولأمثلة ومعالجة تقنية أكثر لاستعمالنا لهذا المصطلح، انظر سلمون (Solomon) 2000م، وليشتنشتايغر(Lichtensteiger) 2004م، وماتسوشيتا وآخرون (Matsushita et al.، 2005م)، بول(Paul).

2. وبالطبع، فإن مجرد التكرار يكون مفيدا في بعض الحالات: 200ريشة يمكن أن تحافظ على دفئ الحيوان أكثر من 100 ريشة فقط، ولكن هذه النقطة ليست ذات علاقة بال "robustness".

الفصل 5

1. في الأبحاث المنشورة يتم غالبا التمييز بين صورة الجسد وبين المفهوم الوثيق الصلة المرتبط بمخطط شكل الجسم... وحسب علماء أعصاب الخلايا الدماغية هاقارد(Haggard) وولبرت (Wolpert) [2005م]، " فإن مخطط شكل الجسم يشير الي تمثيل مواقع لأجزاء من الجسم في الفراغ، والتي يتم تحديثها خلال حركة الجسم... وتشير صورة الجسم إلى تمثيل

الوعي البصري للطريقة التى يظهر بها الجسم من الخارج.عندما يتعلق الأمر بالجرو بابي، يمكننا بوضوح تحديد التركيبات التي تراكمت أثناء تفاعله مع البيئة، ولكن إذا كنا نريد أن نطلق على هذه التركيبات بالرسم البياني للجسم أو بصورة الجسم فتكون بشكل عام عشوائية - وغير مهمة —— و بشكل خاص بسبب عدم وضوح ما يعنيه أن يمتلك الجرو بابي " تمثيل وعي بصري: conscious visual representation ". فالذي يهم هو أن نكون دائما قادرين أن نحدد ما نتكلم عنه بالضبط. وهذا من وجهة نظر المنهج التركيبي وليس من الضروري التعمق أكثر في هذه المناقشة؛ أما القارئ المهتم فعليه أن يرجع إلى مجموعة من الأوراق بعنوان " صورة الجسم ومخطط شكل الجسم: Body Image and Body Schema" 2005م للكاتبين (دوبريستا و نوكارت، (De Preester and Knockaert

2. في الرسم البياني لنمط المشي، يمكننا تحديد طبقة حالة الإدخال بواسطة رسم خط عمودي في نقطة معينة في زمن محدد ومعرفة ما إذا كان أي من هذه الخطوط الأربعة يقطع الخط العمودي: فإذا قطع الخط العمودي، عندئذ تكون القدم على الأرض في تلك اللحظة؛ وإذا لم يقطع فلن تكون القدم على الأرض.

3. علم الأعصاب غني بالمنشورات في علم الخلايا العصبية الدماغية والذي يمكن أن يشاهد كمساهمة بطريقه أو بأخرى إلى فهمنا لصورة الجسم (أو مخطط شكل الجسم)، مثال، بينفيلد (Penfield) و بلدري Boldrey)، 1937م، و ايديلمان (Edelman)، 1987م. موراسو(Morasso) و سانغينيتي (Sanguinetti)، 1995م؛ مارافيتا(Maravita) و جيانيرود (Jeannerod)، 1997م؛ غرازيانو(Graziano) وقروس(Gross)، يريكي(Iriki)، 2004م؛ راماشاندرن(Ramachandran) و هيرستين(Hirstein)، 1998م؛ هيغارد(Haggard) و غالاغر(Gallagher)، 2005م أ، ب؛ ولبرت(Wolpert)، 2005م، على سبيل المثال لا الحصر.

الفصل 6

1. التي نشرت باللغة الألمانية؛ (Rechenberg) أهم أعمال ريشنبرغ
و: للراغبين في المزيد من التفاصيل عن تاريخ (التطور الحاسوبي
ويشمل مساهمات ريشنبرغ، evolutionary computation)،
نقترح فوجل(Fogel)، 1998م.
2. على أن القوة الحاسوبية في الحاسوب(Moore) ينص قانون مور
المعياري تتضاعف تقريباً كل 18 شهر.

الفصل 7

1. تفاعلات الاتصالات غير المباشرة(:(Stigmergic interactions
هي تلك الآليات التى تتواصل بها الكائنات مع بعضها البعض بطريقة غير
مباشرة ومن خلال تغير البيئة، مثل إفراز الفرمونات أو التبول لتعليم حدود
منطقة ما.
2. ذو الخلية (slime mold: كما ذكر أعلاه، فإن (فطر المادة اللزجة
الواحدة يتمكَّن من عمل الكثير، ولكن سلوكه، محدود جدا مقارنة بالكائنات
الحية ذات الخلايا المختلفة.

الفصل 8

1. النص مأخوذ من المنزل الذكي ترون على موقع الشبكة العنكبوتية،
2. ألف الكتاب في عام 1947م ونشر في عام 1948م.

الفصل 10

1. م) تمتلك الذاكرة الرقابية1997) (Baddeley) استنادا إلى بادلي
القليل من المعلومات: فلذلك أنت بحاجة إلى أن تتذكر أن عليك مقابلة شخص
ما، أو أن تخرج الكيك من الفرن، ولكنك لا تحتاج أن تتذكر ماذا ستقول
بالتفصيل، أو كيف ستصنع الكيك. وفي المقابل، تميل الذاكرة الإسترجاعية
إلى الاهتمام بكمية المعلومات المسترجعة.
2. م: ص 271) الى أن عبارة " Baddeley)(1997) يشير بادلي
التعرف أفضل من الاستذكار: recognition is better than
recall " محدودة التصنيف وذلك لكون أوجه المقارنة الفعلية غير
واضحة؛ بينما الظاهرة العامة تبقى صحيحة بالتأكيد.

الفصل 11

1. أعلنت شركة سوني في يناير 2006 م، كجزء من جهودها، بأنها لم وبقي أن نرى أي تأثير سيكون للتطور (AIBO).تعود تنتج وتدعم ايبو على مستقبل روبوتات الترفيه.

المراجع

Anderson, J. (1983). *The Architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Andrews, K. R. (1987). *The concept of corporate strategy.* 3rd edition. Burr Ridge, IL: Richard D. Irwin.

Ansoff, I. H. (1965). *Corporate strategy*. New York: McGraw-Hill.

Arleo, A., and Gerstner, W. (2000). Spatial cognition and neuro-mimetic navigation: A model of hippocampal place cell activity. In *Navigation in Biological and Artificial Systems*, special issue of Biological Cybernetics, 83:287–299.

Asada, M., MacDorman, K. F., Ishiguro, H., and Kuniyoshi, Y. (2001). *Cognitive developmental robotics as a new paradigm for the design of humanoid robots. Robotics and Autonomous Systems*, 37:185–193.

Ashby, W. R. (1956). *An introduction to cybernetics*. London: Chapman and Hall.

Atkinson, R. C., and Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence, ed., *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. Vol. 2. New York: Academic Press, 89–195.

Autumn, K., and Peattie, A. M. (2002). *Mechanisms of adhesion in geckos. Integrative and Comparative Biology*, 42(6): 1081–1090.

Autumn, K., Sitti, M., Peattie, A. M., Hansen, W., Sponberg, S., Liang, Y. A., Kenny, T., Fearing, R., Israelachvili, J. N., and Full, R. J. (2002). *Evidence for van der Waals adhesion in gecko setae. Proceedings of the National Academy of Science*, 99(19): 12252–12256.

Ayers, J. (2004). *Underwater walking. Arthropod Structure & Development*, 33(3): 347–360.

Babloyantz, A., Nicolis, C., and Salazar, M. (1985). *Evidence for chaotic dynamics during the sleep cycle. Physics Letters A*, 111:152.

Baddeley, A. (1997). *Human memory: Theory and practice*. Revised edition. East Sussex, UK: Psychology Press.

Bakkum, D. J., Shkolnik, A. C., Ben-Ary, G., Gamblen, P., DeMarse, T. B., and Potter, S. M. (2004). Remove some “A” from AI: Embodied cultured networks. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence.* Berlin: Springer, 130–145.

Balakrishnan, K., Bousquet, O., and Honavar, V. (1999). Spatial learning and localization in rodents : A computation model of the hippocampus and its implications for mobile robots. *Adaptive Behavior*, 7(2): 173–216.

Banzhaf, W., Nordin, P., Keller, R. E., and Francone, F. D. (1998). *Genetic programming: An introduction*. San Francisco: Morgan Kaufmann.
Bargh, J. A., and Chartrand, T. L. (1999). The unbearable automaticity of being. *American Psychologist*, 54:462–479.
Barnard, C. I. (1938). *Functions of the executive*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
Bartlett, F. C. (1932). *Remembering*. Cambridge: Cambridge University Press.
Basar, E., ed. (1990). *Chaos in brain function*. Berlin: Springer.
Beckers, R., Holland, O., and Deneubourg, J.-L. (1994). From local actions to global tasks: Stigmergy and collective robotics. In R. Brooks and P. Maes, eds., *Artificial life IV: Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*. Cambridge, MA: MIT Press, 181–189.
Beer, R. D. (2003). The dynamics of active categorical perception in an evolued model agent. *Adaptive Behavior*, 11(4): 209–243.
Bernstein, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. London: Pergamon.
Best, P. J., White, A. M., and Minai, A. (2001). Spatial processing in the brain: The activity of hippocampal place cells. *Annual Review of Neuroscience*, 24:459–486.

Bird, J., and Layzell, P. (2002). The evolved radio and its implications for modeling the evolution of novel sensors. In *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation Piscataway*, NJ: IEEE Press, 1836–1841.

Blickhan, R., Wagner, H., and Seyfarth, A. (2003). Brain or muscles? *Recent Research Developments in Biomechanics*, 1:215–245.

Bonabeau, E., Dorigo, M., and Theraulaz, G. (1999). *Swarm intelligence: From natural to artificial systems. Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*. Oxford: Oxford University Press.

Bongard, J. C. (2002). Evolving modular genetic regulatory networks. In *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation.* Piscataway, NJ: IEEE Press, 305–311.

Bongard, J. C. (2003). *Incremental approaches to the combined evolution of a robot's body and brain*. PhD thesis, Faculty of Mathematics and Science, University of Zurich.

Bongard, J. C., and Pfeifer, R. (2001). Repeated structure and dissociation of genotypic and phenotypic complexity in artificial ontogeny. In L. Spector et al., eds., *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 829–836.

Bovet, S., and Pfeifer, R. (2005). Emergence of coherent behaviors from homogenous

sensorimotor coupling. *The 12th International Conference on Advanced Robotics* (ICAR 2005), 324–330.
Bower, J. L. (1970). *Managing the resource allocation process: A study of corporate planning and investment.* Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
Braitenberg, V. (1984). *Vehicles: Experiments in synthetic psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
Breazeal, C. (2002). *Designing sociable robots*. Cambridge, MA: MIT Press.
Bremermann, H. J. (1958). *The evolution of intelligence: The nervous system as a model of its environment*. Technical report 1, contract no. 477(17), Department of Mathematics, University of Washington, Seattle, WA.
Bridgeman, B. (2003). Is mental life possible without the will? A review of Daniel M. Wegner's The Illusion of Conscious Will. Psyche, 9(13). http://psyche.cs.monash.edu.au/
Brighton, H. (2004). *Introducing artificial intelligence*. New York: Totem Books.
Brooks, R. A. (1986). A robust layered control system for a mobile robot. IEEE *Journal of Robotics and Automation*, 2(1): 14–23.
Brooks, R. A. (1990). Elephants don't play chess. In P. Maes, ed., *Designing autonomous agents:*

Theory and practice from biology to engineering and back. Cambridge, MA: MIT Press, 3–15.

Brooks, R. A. (1991a). Intelligence without reason. In J. Myopoulos and R. Reiter, eds., *Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 569–595.

Brooks, R. A. (1991b). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, 47:139–160.

Brooks, R. A., and Stein, L. A. (1994). Building brains for bodies. *Autonomous Robots*, 1(1): 7–25.

Burgelman, R. A. (2002). *Strategy is destiny: How strategy-making shapes a company's future.* New York: Free Press.

Burgess, N., Donnett, J. G., Jeffery, K. J., and O'Keefe, J. (1997). Robotic and neuronal simulation of the hippocampus and rat navigation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 352:1535–1543.

Camazine, S., Deneubourg, J.-L., Franks, N. R., Sneyd, J., Theraulaz, G., and Bonabeau, E. (2001). *Self-organization in biological systems*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Carpenter, G. A., and Grossberg, S. (2002). Adaptive resonance theory. In M. A. Arbib, ed., *The handbook of brain theory and neural networks*, 2nd edition. Cambridge, MA: MIT Press.

Cartright, B. A., and Collett, R. S. (1983). Landmark navigation in bees. *Journal of Comparative Physiology*, 151:521–543.

Ceci, S., and Williams, W., eds. (1999). *The nature-nurture debate: The essential readings*. Oxford, UK: Blackwell.

Chalmers, D. (1997). *The conscious mind: In search of a fundamental theory*. Oxford: Oxford University Press.

Christensen, C. M. (1997). *The innovator's dilemma*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.

Clancey, W. J. (1991). Review of The invention of memory by Israel Rosenfield. *Artificial Intelligence*, 50:241–284.

Clancey, W. J. (1997). *Situated cognition: On human knowledge and computer representations*. New York: Cambridge University Press.

Clark, A. (1997). *Being there: Putting brain, body, and world together again*. Cambridge, MA: MIT Press.

Clark, A. (2003). *Natural-born cyborgs: Minds, technologies, and the future of human intelligence*. Oxford: Oxford University Press.

Collins, S. H., Wisse, M., and Ruina, A. (2001). A three-dimensional passive-dynamic walking robot with two legs and knees. *International Journal of Robotics Research*, 20:607–615.

Collins, S., Ruina, S., Tedrake, R., and Wisse, M. (2005). Efficient bipedal robots based on passive-dynamic walkers. *Science*, 307:1082–1085.

Craik, F. I. M. (1983). *On the transfer of information from temporary to permanent memory. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 302:341–359.

Crick, F., and Koch, C. (2003). A framework for consciousness. *Nature Neuroscience*, 6(2): 119–126.

Crockett, L. J. (1994). *The Turing Test and the frame problem: AI's mistaken understanding of intelligence*. Norwood, NJ: Ablex.

Cruse, H. (1990). What mechanisms coordinate leg movement in walking arthropods? Trends in *Neurosciences*, 13:15–21.

Czikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York: Harper and Row.

Damasio, A. (1995). *Descartes' error: Emotion, reason, and the human brain*. New York: Quill.

Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life*. London: John Murray.

Dautenhahn, K., and Nehaniv, C. L., eds. (2002). *Imitation in animals and artifacts*. Cambridge, MA: MIT Press.

Davids, A. (2002). Urban search and rescue robots: From tragedy to technology. IEEE *Intelligent Systems*, 17(2): 81–83.

Dawkins, R. (1986). *The blind watchmaker: Why the evidence of evolution reveals a universe without design.* W. W. Norton.

Dawkins, R. (1996). *Climbing mount improbable*. W. W. Norton.

Deneubourg, J.-L., and Goss, S. (1989). Collective patterns and decision making. *Ethology*, *Ecology*, *and Evolution*, 1:295–311.

Dennett, D. C. (1997). Cog as a thought experiment. *Robotics and Autonomous Systems*, 20:251–256.

De Preester, H., and Knockaert, V., eds. (2005). *Body image and body schema: Interdisciplinary perspectives on the body*. Amsterdam: John Benjamin.

Descartes, R. (1637). *Discourse on method*. Trans. L. LaFleur. New York: Bobbs Merrill, 1960.

Dewey, J. (1896). The reflex arc in psychology. *Psychological Review*, 3(1896): 357–370. Reprinted in J. J. McDermott, ed., *The Philosophy of John Dewey.* Chicago: University of Chicago Press, 136–148.

Dorigo, M., and Stützle, T. (2004). *Ant colony optimization*. Cambridge, MA: MIT Press.

Dorigo, M., Di Caro, G., and Sampels, M., eds. (2002). *Ant algorithms: Third International*

Workshop, ANTS 2002. Berlin: Springer.
Drucker, P. F. (1985). *Innovation and entrepreneurship: Practice and principles*. New York: Harper and Row.
Dürr, V., Krause, A. F., Schmitz, J., and Cruse, H. (2003). Neuroethological concepts and their transfer to walking machines. *International Journal of Robotics Research*, 22(3–4): 151–167.
Edelman, G. (1987). *Neural Darwinism: The theory of neuronal group selection*. New York: Basic Books.
Eggenberger, P. (1997). Evolving morphologies of simulated 3d organisms based on differential gene expression. In P. Husbands and I. Harvey, eds., *Fourth European Conference on Artificial Life.* Cambridge, MA: MIT Press, 205–213.
Eggenberger, P. (1999). *Evolution of three-dimensional, artificial organisms: Simulations of developmental processes*. PhD dissertation, Medical Faculty, University of Zurich.
Eggenberger Hotz, P. (2003). Genome-physics interaction as a new concept to reduce the number of genetic parameters in artificial evolution. *Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation.* Piscataway, NJ: IEEE Press, 191–198.
Eliasmith, C. (2005). A unified approach to building and controlling spiking attractor networks. *Neural Computation*, 17(6): 1276–1314.

Ellis, R., and Humphreys, G. W., eds. (1999). *Connectionist psychology: A text with readings*. Hove, UK: Psychology Press.

Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, H. A., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D., and Plunkett, K. (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA: MIT Press.

Epstein, J. M., and Axtell, R. L. (1996). *Growing artificial societies: Social science from the bottom up*. Cambridge, MA: MIT Press.

Erwin, T. L. (1988). The tropical forest canopy: The heart of biotic diversity. In E. O. Wilson, ed., *Biodiversity*. Washington, DC: National Academy Press, 123–129.

Erwin, T. L. (1997). Biodiversity at its utmost: Tropical forest beetles. In M. L. Reaka-Kudla, D. E. Wilson, and E. O. Wilson, eds., *Biodiversity II*. Washington, DC, Joseph Henry Press, 27–40.

Fend, M., Yokoi, H., and Pfeifer, R. (2003). Optimal morphology of a biologically inspired whisker array on an obstacle-avoiding robot. In W. Banzhaf, T. Christaller, P. Dittrich, J. T. Kim, and J. Ziegler, eds., *Advances in Artificial Life: Proceedings of the Seventh European Conference on Artificial Life Berlin*: Springer, 771–780.

Ferber, J. (1999). *Multi-agent systems: Anintroduction to distributed artificial*

intelligence. Harlow, UK: Addison-Wesley.

Feyerabend, P. (1975). *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge.* London: Verso.

Fisher, R. P. (1996). Implications of output-bound measure for laboratory and field research in memory. Behavioral and Brain Sciences, 19:197.

Fogel, D. B., ed. (1998). *Evolutionary computation: The fossil record*. Piscataway, NJ: IEEE Press.

Fraser, A. S. (1957). Simulation of genetic systems by automatic digitalcomputers. I. Introduction. *Australian Journal of Biological Science*, 10:484–491.

Freeman, W. J. (1991). The physiology of perception. Scientific American, 264:78–85.

Freeman, W. J. (2000). *Neurodynamics: An exploration of mesoscopic brain dynamics*. London: Springer.

Fukuda, T., and Nakagawa, S. (1988). Approach to the dynamicall reconfigurable robotic system. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 1:55–72.

Gallagher, S. (2005a). Dynamic models of body schema processes. In H. De Preester and V. Knockaert, eds. (2005). *Body image and body schema: Interdisciplinary perspectives on the body*. Amsterdam: John Benjamin.

Gallagher, S. (2005b). *How the body shapes the mind*. Oxford: Oxford University Press.
Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., and Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in premo tor cortex. *Brain*, 199:593–609.
Gardner, M. (1970). Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "Life". *Scientific American*, 223(October 1970):120–123.
Garrod, S., and Pickering, M. J. (2004). Why is conversation so easy? *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1): 8–11.
Gaussier, P., Revel, A., Banquet, J., and Babeau, V. (2002). From view cells and place cells to cognitive maps: Processing stages of the hippocampal system. *Biological Cybernetics*, 86:15–28.
Geim, A. K., Dubonos, S. V., Grigorieva, I. V., Novoselov, K. S., Ahukov, A. A., and Shapoval, S. Y. (2003). Microfabricated adhesive mimicking gecko foot-hair. *Nature Materials*, 2:461–463.
Gemmell, J., Bell, G., and Lueder, R. (2006) MyLifeBits: A personal database for every thing. *Communications of the ACM*, 49(1): 88–95.
Gleick, J. (1987). Chaos: *Making a new science*. New York: Viking Penguin.
Glenberg, A. M. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20:1–56.

Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Reading*, MA: Addison-Wesley.

Goleman, D. (1997). *Emotional intelligence*. New York: Bantam Books.

Gomez, P. Y., and Jones, B. C. (2000). Conventions: An interpretation of deep structure in organizations. *Organization Science*, 11(6): 696–708.

Graybiel, A. M. (1990). Neurotransmitters and neuromodulators in the basal ganglia. Trends in *Neuroscience*, 13(7): 244–254.

Graziano, M. S., and Gross, C. G. (1998). Spatial maps for the control of movement. *Current Opinion Neurobiology*, 8:195–201.

Gregory, R. L. (1987). *The Oxford companion to the mind*. Oxford: Oxford University Press.

Grillner, S. (1996). Neural networks for vertebrate locomotion. *Scientific American*, 274: 64–69.

Groß, R., and Dorigo, M. (2004). Cooperative transport of objects of different shapes and sizes. In M. Dorigo, M. Birattari, C. Blum, L. M. Gambardella, F. Mondada, and T. Stützle, eds., *Ant colony optimization and swarm intelligence*. Berlin: Springer, 106–117.

Guan, L., Kiemel, T., and Cohen, A. V. (2001). Impact of movement and movement-related feedback on the lamprey central pattern

generator for locomotion. *Journal of Experimental Biology*, 204:2361–2370.
Guha, R. V., and Lenat, D. B. (1990). Cyc: A midterm report. *AI Magazine*, 11(3): 32–59.
Haenny, P. E., Maunsell, J. H., and Schiller, P. H. (1988). State dependent activity in monkey visual cortex. II. *Retinal and extraretinal factors in V4. Experimental Brain Research*, 69:245–259.
Hafner, V. V., and Möller, R. (2001). Learning of visual navigation strategies. In M. Quoy, P. Gaussier, and J. Wyatt, eds., *Proceedings of the Ninth European Workshop on Learning Robots*. Springer: Berlin, 47–56.
Haggard, P., and Wolpert, D. (2005). Disorders of body scheme. In H.-J. Freund, M. Jeannerod, M. Hallett, and R. Leiguarda, eds., *Higher-order motor disorders: From neuroanatomy and neurobiology to clinical neurology*. Oxford, UK: Oxford University Press.
Hamel, G., and Prahalad, C. K. (1994). *Competing for the future*. Cambridge, MA: Harvard Business School Press.
Hara, F., and Pfeifer, R. (2000). On the relation among morphology, material and control in morpho-functional machines. In J. A. Meyer, A. Berthoz, D. Floreano, H. L. Roitblat, and S. W. Wilson, eds., From animals to animats 6: *Proceedings of the Sixth International*

Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge, MA: MIT Press, 33–40.

Hara, F., and Pfeifer, R., eds. (2003). *Morpho-functional machines, the new species: Designing embodied intelligence.* Tokyo: Springer.

Harnad, S. (1990). The symbol grounding problem. *Physica D*, 42:335–346.

Hatch, J. P., and Riley, P. (1985). Growth and development of biofeedback: A bibliographic analysis. *Biofeedback and Self Regulation*, 10(4): 289–299.

Haugeland, J. (1985). *Artificial intelligence: The very idea.* Cambridge, MA: MIT Press.

Hayes, A. T., Martinoli, A., and Goodman, R. M. (2000). Comparing distributed exploration strategies with simulated and real autonomous robots. In L. Parker, G. Bekey, and J. Bahren, eds., *Proceedings of the Fifth International Symposium on Distributed Autonomous Robotics Systems.* Berlin: Springer, 261–270.

Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.

Hemelrijk, C. K. (2002). Self-organsation and natural selection in the evolution of complex despotic societies. *Biological Bulletin*, 202:283–289.

Herrnstein, R., and Murray, C. (1994). *The bell curve: Intelligence and class structure in American life.* New York: Free Press.

Hertzberg, J., Jaeger, H., and F. Schonherr (2002). Learning to ground fact symbols in behavior-based robots. In F. van Harmelen, ed., *Proceedings of the Fifteenth European Conference on Artificial Intelligence*. Amsterdam: IOS Press, 708–712.

Hirose, S. (1993). *Biologically inspired robots: Snake-like locomotors and manipulators*. Oxford: Oxford University Press.

Hofstadter, D. R. (1985). *Metamagical themas: Questing for the essence of mind and pattern*. New York: Basic Books.

Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems*. Cambridge, MA: MIT Press.

Holland, O., and Melhuish, C. (1999). Stigmergy, self-organization, and sorting in collective robotics. *Artificial Life*, 5:173–202.

Hosokawa, K., Shimoyama, I., and Miura, H. (1995). Dynamics of self-assembling systems: Analogy with chemical kinetics. *Artificial Life*, 1:413–427.

Hunt, K. D. (1996). The postural feeding hypothesis: An ecological model for the evolution of bipedalism. *South African Journal of Science*, 92:77–90.

Huxley, J. S. (1942). *Evolution, the modern synthesis*. London: Allen and Unwin.

Ichikawa, S., Miyamae, T., and Hara, F. (2003). Emerging of group formation: Morphological configuration of multi-robot system. In F. Hara

and R. Pfeifer, eds., *Morpho-functional machines: The new species.* Tokyo: Springer.

Iida, F., and Pfeifer, R. (2004). Self-stabilization and behavioral diversity of embodied adaptive locomotion. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence.* Berlin: Springer, 119–129.

Iida, F., Dravid, R., and Paul, C. (2002). Design and control of a pendulum-driven hopping robot. In R. Siegwart and C. Laugier, eds., *Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.* Madison, WI: Omni press, 2141–2146.

Iida, F., Pfeifer, R., Steels, L., and Kuniyoshi, Y., eds. (2004). *Embodied artificial intelligence.* Berlin: Springer.

Ijspeert, A. J. (2001). A connectionist central pattern generator for the aquatic and terrestrial gaits of a simulated salamander. *Biological Cybernetics*, 84(5): 331–348.

Ijspeert, A. J., Martinoli, A., Billard, A., and Gambardella, L. M. (2001). Collaboration through the exploitation of local interactions in autonomous collective robotics: The stick pulling experiment. *Autonomous Robots*, 11(2): 149–171.

Inamura, T., Toshima, I., Tanie, H., and Nakamura, Y. (2004). Embodied symbol emergence based on

mimesis theory. *International Journal of Robotics Research*, 23(4): 363–378.
Ishiguro, A., and Kawakatsu, T. (2003). How should control and body systems be coupled? A robotic case study. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence.* Berlin: Springer, 107–118.
Ishiguro, A., Fujii, A., and Eggenberger, P. (2003). Neuromodulated control of bipedal locomotion using a polymorphic CPG circuit. *Adaptive Behavior*, 11(1): 7–17.
Ito, M., and Tani, J. (2004). On-line imitative interaction with a humanoid robot using a dynamic neural network model of a mirror system. *Adaptive Behavior*, 12(2): 93–115.
Jacoby, L. L., and Dallas, M. (1981). On the relationship between autobiographical memory and perceptual learning. *Journal of Experimental Psychology* (General), 110:306–340.
Jaeger, H., and Christaller, T. (1998). Dual dynamics: Dcsigning behavior systems for autonomous robots. *Artificial Life and Robotics*, 2:108–112.
Jeannerod, M. (1997). The cognitive neuroscience of action. Oxford, UK: Blackwell.
Kaas, J. H. (1995). The reorganization of sensory and motor maps in adult mammals. In M. S. Gazzaniga, ed., *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press/Bradford Books.

Kaneko, K., and Tsuda, I. (2001). *Complex systems: Chaos and beyond. A constructive approach with applications in life sciences.* Berlin: Springer.

Karn, K. S., and Zelinsky, G. J. (1996). Driving and dish washing: Failure of the correspondence metaphor for memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 19(2): 198.

Kauffman, S. A. (1993). *The origins of order: Self-organization and selection in evolution.* Oxford: Oxford University Press.

Kawasaki, G. (1999). *Rules for revolutionaries: The capitalist manifesto for creating and marketing new products and services.* New York: HarperCollins.

Kelso, J. A. S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior.* Cambridge, MA: MIT Press.

Kimura, H., Tsuchiya, K., Ishiguro, A., and Witte, H., eds. (2006). *Adaptive motion of animals and machines.* Tokyo: Springer.

Kitano, H., Asada, M., Kuniyoshi, Y., Noda, I., Osawa, E., and Matsubara, H. (1997). RoboCup: A challenge problem for AI. *AI Magazine*, 18(1): 73–85.

Klaassen, B., Linnemann, R., Spenneberg, D., and Kirchner, F. (2002). Biomimetic walking robot SCORPION: Control and modeling. *Robotics and Autonomous Systems*, 41(2–3): 69–76.

Kolers, P. A., and Roediger, H. L., III (1984). Procedures of mind. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 23:425–449.

Koppel, D., Wang, W. F., and Lee, H. (2005). Robust and real-time image stabilization and rectification. In IEEE *Workshop on Applications of Computer Vision*, Piscataway, NJ: IEEE Press, 350–355.

Koriat, A., and Goldsmith, M. (1996). Memory metaphors and the laboratory/real-life controversy: Correspondence versus storehouse views of memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 19:175–227.

Koriat, A., and Goldsmith, M. (1997). The myriad functions and metaphors of memory. *Behavioral and Brain Sciences*, 20:27–28.

Koriat, A., and Pearlman-Avnion, S. (2003). Memory organization of action events and its relationship to memory performance. *Journal of Experimental Psychology* (General), 132:435–454.

Koza, J. R., and Rice, J. P., eds. (1992). *Genetic programming: On the programming of computers by means of natural selection.* Cambridge, MA: MIT Press.

Koza, J. R., ed. (1994). *Genetic programming II: Automatic discovery of reusable programs.* Cambridge, MA: MIT Press.

Koza, J. A., Andre, D., Keane, M. A., and Bennett, F. H. (1999). *Genetic programming III: Darwinian invention and problem solving.* San Francisco: Morgan Kaufmann.

Koza, J. R., Keane, M. A., Streeter, M. J., Mydlowec, W., Yu, J., and Lanza, G., eds. (2003). *Genetic programming IV: Routine human-competitive machine intelligence*. Nonwell, MA: Kluwer Academic.

Krumlauf, R. (1994). Hox genes in vertebrate development. *Cell*, 78(2): 191–201.

Kuniyoshi, Y., Yorozu, Y., Inaba, M., and Inoue, H. (2003). From visuo-motor self learning to early imitation: A neural architecture for humanoid learning. *Proceedings of the 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Piscataway, NJ: IEEE Press, 3132–3139.

Kuniyoshi, Y., Yorozu, Y., Yoshiyuki, E., Terada, K., Otani, T., Nagakubo, A., and Yamamoto, T. (2004). From humanoid embodiment to theory of mind. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence*. Berlin: Springer, 202–218.

Kunz, H., and Hemelrijk, C. K. (2003). Artificial fish schools: Collective effects of school size, body size, and body form. *Artificial Life*, 9:237–253.

Kurzweil, R. (2000). *The age of spiritual machines: When computers exceed human intelligence.*

New York: Penguin Putnam.

Kuwana, Y., Nagasawa, S., Shimoyama, I., and Kanzaki, R. (1999). Synthesis of the pheromone-oriented behavior of silkworm moths by a mobile robot with moth antennae as pheromone sensors. *Biosensors and Bioelectronics*, 14(2): 195–202.

Lachman, R., Lachman, J. L., and Butterfield, E. C. (1979). *Cognitive psychology and information processing.* Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Lakoff, G., and Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.

Lakoff, G., and Núñez, R. (2000). *Where mathematics comes from: How the embodied mind brings mathematics into being.* New York: Basic Books.

Lambrinos, D., Möller, R., Labhart, T., Pfeifer, R., and Wehner, R. (2000). A mobile robot employing insect strategies for navigation. *Robotics and Autonomous Systems*, 30:39–64.

Langton, C. G. (1995). *Artificial life: An overview*. Cambridge, MA: MIT Press.

Libet, B., Gleason, C. A., Wright, E. W., and Pearl, D. K. (1983). Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential): The unconscious initiation of a freely voluntary act. *Brain*, 106:623–642.

Lichtensteiger, L., and Salomon, R. (2000). The evolution of an artificial compound eye by using

adaptive hardware. In *Proceedings of the 2000 Congress on Evolutionary Computation*. Piscataway, NJ: IEEE Press, 1144–1151.

Ling, L., Martinoli, A., and Abu-Mostafa, Y. S. (2004). Learning and measuring specialization in collaborative swarm systems. *Adaptive Behavior*, 12(3–4): 199–212.

Lipson, H., and Pollack, J. B. (2000). Automatic design and manufacture of artificial lifeforms. *Nature*, 406:974–978.

Lohn, J. D., Hornby, G. S., and Linden, D. S. (2004). *An evolved antenna for deployment on NASA's Space Technology 5 mission. Genetic Programming Theory and Practice II*. Kluwer, chapter 18.

Lovejoy, C. Owen. (1981). The origins of man. *Science*, 211:341–348.

Lungarella, M. (2004). *Exploring principles towards a developmental theory of embodied artificial intelligence.* PhD thesis, University of Zurich, Switzerland.

Lungarella, M., Metta, G., Sandini, G., and Pfeifer, R. (2004). Developmental robotics: A survey. *Connection Science*, 15(4): 151–190.

Lungarella, M., Pegors, T., Bulwinkle, D., and Sporns, O. (2005). Methods for quantifying the informational structure of sensory and motor data. *Neuroinformatics*, 3(3): 243–262.

Mapping, B. (1994). Penfield's homunculus. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 56(4): 329–333.
Maravita, A., and Iriki, A. (2004). Tools for the body (schema). *Trends in Cognitive Sciences*, 8(2): 79–86.
March, J. G. (1994). *Primer on decision making: How decisions happen*. New York: Free Press.
March, J. G., and Simon, H. A. (1993). *Organizations.* 2nd edition. Oxford, UK: Blackwell.
Maris, M., and te Boekhorst, R. (1996). Exploiting physical constraints: Heap formation through behavioral error in a group of robots. In *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.* Piscataway, NJ: IEEE Press, 1655–1660.
Martin, P., and Bateson, P. (1993). *Measuring behavior: An introductory guide*. 2nd edition. Cambridge: Cambridge University Press.
Martinoli, A., Ijspeert, A., and Mondada, F. (1999). Understanding collective aggregation mechanisms: From probabilistic modeling to experiments with real robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 29:51–63.
Matsushita, K., Lungarella, M., Paul, C., and Yokoi, H. (2005). Locomoting with less computation but more morphology. In *International Conference on*

Robotics and Automation. Piscataway, NJ: IEEE Press.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., and Shannon, C. E. (1955). Dartmouth Artificial Intelligence Project Proposal. (webpage) http://www.-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html

McCorduck, P. (1979). *Machines who think*. San Franscisco: W. H. Freeman.

McCulloch, W. S., and Pitts, W. H. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5:115–133.

McDermott, J. J. (1981). *The philosophy of John Dewey*. Chicago: University of Chicago Press.

McFarland, D. (1994). Towards robot cooperation. In D. Cliff, P. Husbands, J.-A. Meyer, and S. W. Wilson, eds., From animals to animats 3: *Proceedings of the Third International Conference on Simulation of Adaptive Behavior.* Cambridge, MA: MIT Press, 440–444.

McFarland, D., and Bösser, T. (1993). *Intelligent behavior in animals and robots*. Cambridge, MA: MIT Press.

McGeer, T. (1990). Passive dynamic walking. *International Journal of Robotics Research*, 9:62–82.

McLurkin, J., and Yamins, D. (2005). *Dynamic task assignment in robot swarms. In S. Thrun, G. S.*

Sukhatme, and S. Schaal, eds., Robotics: Science and systems. Cambridge, MA: MIT Press.

McMahan, R. A. (1984). *Muscles, reflexes, and locomotion.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

Miki, N., and Shimoyama, I. (1999). Study on micro-flying robots. *Advanced Robotics,* 13(3): 245–246.

Minsky, M. (1985). *The society of mind*. New York: Simon and Schuster.

Mintzberg, H. (1994). *The rise and fall of strategic planning: Reconceiving roles for planning, plans, planners.* New York: Free Press.

Moor, J. H., ed. (2003). *The Turing Test: The elusive standard of artificial intelligence.* Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic.

Montefiore, A., and Noble, D. (1989). *Goals, no-goals and own goals: A debate on goaldirected and intentional behaviour.* London: Unwin Hyman.

Morasso, P., and Sanguinetti, V. (1995). Self-organizing body schema for motor planning. *Journal of Motor Behavior*, 27(1): 52–66.

Murata, S., Kamimura, A., Kurokawa, H., Yoshida, E., Tomita, K., and Kokaji, S. (2004). Self-reconfigurable robots: Platforms for emerging functionality. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y.

Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence*. Berlin: Springer, 312–330.

Nadel, J. (2002). When do infants expect? *Infant Behavior and Development*, 7:517–522.

Nagai, Y., Hosoda, K., Morita, A., and Asada, M. (2003). A constructive model for the development of joint attention. *Connection Science*, 15(4): 211–229.

Naghavi, H. R., and Nyberg, L. (2005). Common fronto-parietal activity in attention, memory, and consciousness: Shared demands on integration? *Consciousness and Cognition*, 14(2): 390–425.

Neath, I., and Surprenant, A. M. (2003). *Human memory. 2nd edition. Belmont*, CA: Wadsworth/Thomson Learning.

Neisser, U. (1978). Memory: What are the important questions? In M. M. Gruneberg,

P. Morris, and R. Sykes, eds., *Practical aspects of memory. London: Academic Press*, 3–24.

Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Nolfi, S., and Floreano, D. (2004). *Evolutionary robotics: The biology, intelligence, and technology of self-organizing machines.* Cambridge, MA: MIT Press.

Nonaka, I., and Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company*. Oxford: Oxford University Press.

Norman, D. A. (1980). Twelve issues for cognitive science. *Cognitive Science*, 4:1–32.

Núñez, R. (2004). Do real numbers really move? In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence*. Berlin: Springer, 54–73.

Okada, M., and Nakamura, Y. (2004). Design of the continuous symbol space for the intelligent robots using the dynamics–based information processing. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation.* Piscataway, NJ: IEEE Press, 3201–3206.

O'Keefe, J., and Dostrovsky, J. (1971). The hippocampus as a spatial map: Preliminary evidence from unit activity in the freely moving rat. *Brain Research*, 34:171–175.

O'Regan, J. K., and Noë, A. (2001). A sensorimotor account of vision and visual consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 24:939–1031.

Paul, C., Dravid, R., and Iida, F. (2002). Control of lateral bounding for a pendulum driven hopping robot. In P. Bidaud and F. B. Amar, eds., *Proceedings of the International Conference of Climbing and Walking Robots.* Suffolk, UK: Professional Engineering Publishing, 333–340.

Paul, C. (2004). Morphology and computation. In S. Schaal, A. J. Ijspeert, A. Billard, S. Vijayakumar, J. Hallam, and J.-A. Meyer, eds., *Proceedings of*

the Eighth International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge, MA: MIT Press, 33–38.

Payne, D. (1984). *Confessions of a Taoist on Wall Street*. New York: Ballantine Books.

Penfield, W., and Boldrey, E. (1937). Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain*, 37:389–443.

Pfeifer, R., and Glatzeder, B. (2004). Visualizing intelligence: The aesthetics of engineering (in German: Intelligenz sichtbar machen: die Aesthetik des Engineering). In C. Maar and H. Burda, eds., *Iconic Turn: Die neue Macht der Bilder*. Cologne, DE: DuMont.

Pfeifer, R., and Scheier, C. (1999). *Understanding intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press.

Pfeifer, R. (2000). On the role of morphology and materials in adaptive behavior. In J.-A. Meyer, A. Bertoz, D. Floreano, H. Roitblat, and S. W. Wilson, eds., *Proceedings of the Sixth International Conference on the Simulation of Adaptive Behavior.* Cambridge, MA: MIT Press, 23–32.

Pfeifer, R., Bongard, J., and Iida, F. (2005). New robotics: Design principles for intelligent systems. *Artificial Life*, 11(1–2): 99–120.

Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in children*. New York: International University

Press.
Piaget, J. (1963, 2001). *The psychology of intelligence*. New York: Routledge.
Pinker, S. (1997). *How the mind works*. New York: W. W. Norton.
Poli, R. (2001). Exact schema theory for genetic programming and variable-length genetic algorithms with one-point crossover. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 2(2): 123–163.
Popper, K. R. (1935). *Logik der Forschung*. Wien: Springer.
Popper, K. R. (1959). *The logic of scientific discovery*. London: Hutchinson.
Port, R. F., and van Gelder, T., eds. (1995). *Mind as motion: Explorations in the dynamics of cognition.* Cambridge, MA: MIT Press.
Porter, M. E. (1980). *Competitive strategy*. New York: Free Press.
Prigogine, I., and Stenger, I. (1984). *Order out of chaos: Man's new dialogue with nature*. Boston: Shambhala.
Ramachandran, V. S., and Hirstein, W. (1998). The perception of phantom limbs: The D. O. Hebb lecture. *Brain*, 121(9): 1603–1630.
Reber, A., ed. (1995). *The Penguin dictionary of psychology*. 2nd edition. London: Penguin.
Rechenberg, I. (1994). *Evolutionsstrategie '94*. Stuttgart: Friedrich Frommann.

Reger, B. D., Fleming, K. M., Sanguineti, V., Alford, S., and Mussa-Ivaldi, F. A. (2001). Connecting brains to robots: An artificial body for studying the computational properties of neural tissues. *Artificial Life*, 6:307–324.

Reynolds, C. W. (1987). Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics,* 21:25–34.

Ridley, M. (2003). *Nature via nurture: Genes, experience, and what makes us human*. New York: HarperCollins.

Russell, S. J., and Norvig, P. (1995). *Artificial intelligence: A modern approach. Upper Saddle River,* NJ: Prentice Hall.

Sakamura, K. (1984). TRON—Total architecture. In Proceedings of Architecture Workshop in Japan '84. *Tokyo: Information Processing Society of Japan*, 41–50 (in Japanese).

Sakamura, K. (1990). TRON-concept intelligent house. *Japan Architect*, 65(4): 35–40 (in Japanese).

Schelling, T. C. (1969). Models of segregation. *American Economic Review* (*Papers and Proceedings*), 59(2): 488–493.

Schenker, P. S., Huntsberger, T. L., Pirjanian, P., Baumgartner, E. T., and Tunstel, E. (2003). Planetary rover developments supporting Mars exploration, sample return and future human-

robotic colonization. *Autonomous Robots*, 14(2–3): 103–126.

Schumpeter, J. A. (1984). *Capitalism, socialism, and democracy.* Fourth edition. New York: HarperCollins.

Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. Behavioral and Brain Sciences, 3:417–424. Reprinted in J. Haugeland, ed., *Mind design*. Montgomery, VT: Bradford Books, 1981.

Seyfried, J., Szymanski, M., Bender, N., Estana, R., Thiel, M., and Wörn, H. (2005), The ISWARM project: Intelligent small world autonomous robots for micro-manipulation. In E. Sahin, ed., *Swarm robotics*. Berlin: Springer, 70–83.

Simon, H. A. (1969). *The sciences of the artificial*. 2nd edition. Cambridge, MA: MIT Press.

Simon, H. A. (1976). *Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organization.* 3rd edition. New York: Free Press.

Sims, K. (1994a). Evolving virtual creatures. *Computer Graphics*, 28:15–34.

Sims, K. (1994b). Evolving 3D morphology and behavior by competition. In R. Brooks and P. Maes, eds., Artificial Life IV: *Proceedings of the Fourth International Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems.* Cambridge, MA: MIT Press, 28–39.

Skarda, C., and Freeman, W. J. (1987). How brains make chaos in order to make sense of the world. *Behavioral and Brain Sciences*, 10:161–195.

Sloman, A. (1978). *The computer revolution in philosophy: Philosophy, science, and models of mind.* Brighton, UK: Harvester Press.

Smith, L. B., and Thelen, E. (2003). Development as a dynamic system. *Trends in Cognitive Sciences,* 7(8): 343–348.

Spector, L. C. (2004). *Automatic quantum computer programming: A genetic programming approach.* Boston: Kluwer Academic.

Spector, L., Klein, J., Perry, C., and Feinstein, M. (2005). Emergence of collective behavior in evolving populations of flying agents. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, 6(1): 111–125.

Sporns, O., and Alexander, W. H. (2002). Neuromodulation and plasticity in an autonomous robot. *Neural Networks*, 15:761–774.

Steels, L. (1991). Toward a theory of emergent functionality. In J.-A. Meyer and S. W. Wilson, eds., From animals to animats: *Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior.* Cambridge, MA: MIT Press, 451–461.

Steels, L. (1997). A selectionist mechanism for autonomous behavior acquisition. In R. Pfeifer and R. Brooks, eds., *Practice and future of*

autonomous agents. Special issue, Robotics and Autonomous Systems, 20:117–132.

Steels, L. (2001). Language games for autonomous agents. IEEE *Intelligent Systems*, 16(5): 16–22.

Steels, L. (2003). Evolving grounded communication for robots. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7): 308–312.

Steels, L. (2004). The autotelic principle. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence*. Berlin: Springer, 231–242.

Storm, C., and Freeman, W. J. (2002). Review of Complex systems: Chaos and beyond. A constructive approach with applications in life sciences, by K. Kaneko and I. Tsuda. Engineering *Applications of Artificial Intelligence*, 15(1): 117–119.

Støy, K., Shen, W.-M., and Will, P. M. (2002). Using role-based control to produce locomotion in chain-type self-reconfigurable robots. IEEE/ASME *Transactions of Mechatronics*, 7(4): 410–417.

Støy, K., Shen, W.-M., and Will, P. (2003). A simple approach to the control of locomotion in self–reconfigurable robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 44(3–4): 191–199.

Strogatz, S. H. (1994). *Nonlinear dynamics and chaos*. Cambridge, MA: Perseus Books.

Suh, N. P. (1990). *The principles of design*. New York: Oxford University Press.

Takahata, M., Shiraki, K., Sakane, Y., and Takebayashi, Y. (2004). Sound feedback for powerful Karate training. In Y. Nagashima and M. J. Lyons, eds., *New interfaces for musical expression*. Hamamatsu, JP: Shizuoka University of Art and Culture, 13–18.

Thelen, E., and Smith, L. (1994). *A dynamic systems approach to the development of cognition and action.* Cambridge, MA: MIT Press.

Thelen, E., Schöner, G., Scheier, C., and Smith, L. B. (2001). The dynamics of embodiment: A field theory of infant perseverative reaching. *Behavioral and Brain Sciences* 24(1): 1–34.

Thompson, A. (1996). Silicon evolution. In J. R. Koza, D. E. Goldberg, D. B. Fogel, and R. L. Riolo, eds., *Proceedings of Genetic Programming* 1996. Cambridge, MA: MIT Press, 444–452.

Tinbergen, N. (1963). *On aims and methods of ethology*. Zeitschrift Tierpsychologie, 20:410–433.

Toda, M. (1982). *Man, robot, and society*. The Hague: Nijhoff.

Tononi, G., Sporns, O., and Edelman, G. M. (1994). A measure for brain complexity: Relating functional segregation and integration in the nervous system. *Proceedings of the National*

Academy of Science of the United States of America, USA 91:5033–5037.
Tononi, G., Sporns, O., and Edelman, G. M. (1996). A complexity measure for selective matching of signals by the brain. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America,* USA 93:3422–3427.
Triantafyllou, M. S., and Triantafyllou, G. S. (1995). An efficient swimming machine. *Scientific American,* 272:64–70.
Trullier, O., and Meyer, J.-A. (1997). Place sequence learning for navigation. In W. Gerstner, A. Germond, M. Hasler, and J. Nicoud, eds., *Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Neural Networks.* Berlin: Springer, 757–762.
Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59:433–460. Reprinted in
E. A. Feigenbaum and J. Feldman, eds., *Computers and thought*. New York: McGraw-Hill, 11–35.
Turing, A. (1952). The chemical basis of morphogenesis. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 237:37–72.
Van Gelder, T. J. (1995). What might cognition be, if not computation? *Journal of Philosophy*, 91:345–381.
Vogel, S. (1998). *Cats' paws and catapults: Mechanical worlds of nature and people*. New

York: Norton.
Von Holst, E. (1943). Über relative Koordination bei Arthropoden. *Pflügers Archiv*, 246:847–865.
Von Melchner, L., Pallas, S. L., and Sur, M. (2000). Visual behavior mediated by retinal projections directed to the auditory pathway. Nature, 404:871–875.
Von Neumann, J. (1966). *The theory of self-reproducing automata*. Edited and completed by A. W. Burks. Urbana: University of Illinois Press.
Walter, W. G. (1950). *An imitation of life*. Scientific American, 182(5): 42–45.
Webb, B. (1996). A robot cricket. *Scientific American*, 275(6): 94–99.
Webb, B., and Consi, T. R., eds. (2001). *Biorobotics: Methods and applications*. Cambridge, MA: MIT Press.
Wegner, D. M. (2002). *The illusion of conscious will*. Cambridge, MA: MIT Press.
Wehner, R., Michel, B., and Antonsen, P. (1996). Visual navigation in insects: Coupling of egocentric and geocentric information. *Journal of Experimental Biology*, 199:129–140.
Weick, K. E. (1995). *Sensemaking in organizations*. London: Sage Publications.
Weiser, M. (1991). The computer for the twenty-first century. *Scientific American*, 265(3): 94–104.
Weizenbaum, J. (1966). ELIZA: A computer program for the study of natural language

communication between man and machine. *Communications of the ACM*, 9(1): 36–45.

Weng, J., McClelland, J., Pentland, A., Sporns, O., Stockmann, I., Sur, M., and Thelen, E. (2001). Autonomous mental development by robots and animals. Science, 291(5504): 599–600.

Wheeler, P. E. (1991). The thermoregulatory advantages of hominid bipedalism in open equatorial environments: The contribution of increased convective heat loss and cutaneous evaporative cooling. *Journal of Human Evolution*, 21:107–115.

Whitesides, G. M., and Grzybowski, B. (2003). Self-assembly at all scales. *Science*, 295: 2418–2421.

Wiener, N. (1948). *Cybernetics; or, Control and communication in the animal and the machine.* Cambridge, MA: MIT Press.

Williamson, M. (1999). *Robot arm control exploiting natural dynamics.* PhD thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology.

Winograd, T., and Flores, F. (1986). *Understanding computers and cognition*. Reading, MA: Addison-Wesley.

Wood, L. (2002). The world in a box. Little fanfare greets the coming out of a pivotal AI project. *Scientific American*, 286(1): 18–19.

Yerkes, R. M., and Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18:459–482.

Yokoi, H., Hernandez Arieta, A., Katoh, R., Yu, W., Watanabe, I., and Maruishi, M. (2003). Mutual adaptation in a prosthetics application. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence*. Berlin: Springer, 146–159.

Yoshikai, T., Mizuuchi, I., Sato, D., Yoshida, S., Inaba, M., and Inoue, H. (2003). Behavior system design and implementation in spined muscle-tendon humanoid "Kenta." *Journal of Robotics and Mechatronics,* 15(2): 143–152.

Yoshikawa, Y., Asada, M., and Hosoda, K. (2004a). Towards imitation learning from a viewpoint of an internal observer. In F. Iida, R. Pfeifer, L. Steels, and Y. Kuniyoshi, eds., *Embodied artificial intelligence.* Berlin: Springer, 278–283.

Yoshikawa, Y., Tsuji, Y., Hosoda, K., and Asada, M. (2004b). Is it my body? Body extraction from uninterpreted sensory data based on the invariance of multiple sensory attributes. In *Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.* Piscataway, NJ: IEEE Press, 2325–2330.

Zykov, V., Mytilinaios, E., Adams, B., and Lipson, H. (2005). Self-reproducing machines. *Nature*,

435(7038): 163–164.

انتهى

- http://karam903.blogspot.com/2005/10/blog post_112937268961276315.html

[35]

[36] المقصود علاقة بعض العلماء من غير المسلمين بالخالق



Table of Contents